



INFORME 1

Estatus y posibilidades de explotación

Convenio de Desempeño 2018

Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2019:

Bacalao de profundidad, 2019

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Agosto 2018



INFORME 1

Estatus y posibilidades de explotación

Convenio de Desempeño 2018

Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables
de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2019:

Bacalao de profundidad, 2019

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Agosto 2018

REQUIRENTE

**SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y
EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO**

Subsecretario de Economía y Empresas de Menor Tamaño
Ignacio Guerrero Toro

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Luis Parot Donoso

Jefe División Investigación Pesquera
Mauricio Gálvez Larach

JEFE DE PROYECTO

Renzo Tascheri Oyaneder

AUTORES

Renzo Tascheri Oyaneder



RESUMEN EJECUTIVO

El informe reporta los resultados de la evaluación indirecta del stock de bacalao de profundidad explotado en aguas de la plataforma Pacífica y Patagónica.

En la primera sección del informe se revisan los antecedentes de historia de vida del recurso y los datos e información disponibles para la implementación de la evaluación (e. g. capturas, esfuerzo y rendimientos de pesca, composiciones de tamaños y edades, madurez sexual, pesos medios por clase de tamaño/edad y parámetros de crecimiento).

En la primera parte del reporte se explicitan también el modelo conceptual (i.e. la interpretación de los datos y piezas de información que soporta el enfoque de evaluación de stock), se introducen la plataforma usada para implementar el modelo y los detalles técnicos de este último (descripción general y formulación estadística/matemática). Se describen también el tratamiento de la incertidumbre asociada a la evaluación, el procedimiento usado para la ponderación de las diferentes piezas de información y la manera en que se procede para determinar el estado de situación (i.e. estatus) del recurso.

La evaluación de stock fue conducida siguiendo el enfoque adoptado en las implementaciones de los últimos dos años, de acuerdo con las cuales se estudiaron dos casos soportados en modelos conceptuales diferentes: En el Caso 1, las poblaciones de bacalao del Pacífico y Atlántico se consideran parte de un único stock donde el reclutamiento depende de la biomasa desovante combinada de ambos océanos. En el Caso 2, se asume que el bacalao de profundidad distribuido en el Pacífico sur oriental conforma una población cerrada con respecto a los desovantes y el reclutamiento, y de este modo puede ser evaluada sin considerar las capturas del Atlántico.

En consecuencia, las evaluaciones conducidas en cada caso incluyeron los nuevos datos de la actividad pesquera chilena del año 2017 y nuevos datos de las pesquerías argentinas, incluyendo las composiciones de tamaño para las pesquerías de palangre (años 2015 y 2016) y arrastre (años 2015 a 2017), además de las capturas.

La biomasa desovante estimada experimentó un continuo descenso desde el inicio de la pesquería hasta el año 2017, con una rápida reducción de la biomasa entre los años 1991 y 1996. Esto contrasta con la reducción en biomasa de los últimos 6 años, equivalente a una tasa de $-0,6$ toneladas año⁻¹ en el Caso 1, e incluso con un leve incremento de $0,4$ toneladas año⁻¹ en el Caso 2.



Las biomásas desovantes estimadas para el año 2017 correspondieron a 47.722 toneladas en el Caso 1 y 28.565 toneladas en el Caso 2.

Con base en los resultados de la evaluación de stock actualizada, se observa que en el año 2017 el stock de bacalao de profundidad se encuentra en un 19% de su potencial desovante máximo con una biomasa desovante inferior al punto biológico de referencia límite de $0,5 \cdot B_{RMS}$ definido por el el CCT-RDAP. De acuerdo con estos resultados, el estado de situación de la pesquería de bacalao de profundidad es de agotada o colapsada.



ÍNDICE GENERAL

	Página
1. OBJETIVOS DEL PROYECTO	5
1.1 Objetivo general.....	5
1.2 Objetivos específicos	5
2. ANTECEDENTES.....	6
2.1 Descripción del recurso	7
2.2 Pesquería.....	9
2.2.1 Escenario internacional	9
2.2.2 Pesquería chilena de bacalao de profundidad	13
2.2.3 Pesquería argentina de bacalao de profundidad	16
2.2.4 Pesquería peruana de bacalao de profundidad	18
2.2.5 Aparejos y métodos de pesca	20
2.3 Modelo conceptual	24
2.4 Parámetros de historia de vida.....	26
2.4.1 Mortalidad natural.....	26
2.4.2 Crecimiento	28
2.4.3 Madurez sexual	30
2.4.4 Productividad y resiliencia	33
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	35
3.1 OBJETIVO 1: Implementar procedimientos de evaluación de stock.....	35
3.1.1 Datos disponibles para la estimación de parámetros.....	35
3.1.2 Composiciones de longitud	37
3.1.3 Composiciones de edad	40
3.1.4 Pesos medios a la edad	42
3.1.5 Bitácoras de pesca y registros oficiales de captura	44
3.1.6 Capturas	48
3.2 Descripción general del modelo.....	52
3.2.1 Estructura del modelo	52
3.2.2 Diagnóstico del modelo de evaluación	53
3.2.3 Incertidumbre del modelo.....	54
3.2.4 Ponderación de los datos de composición de las capturas tomando en consideración las correlaciones	54
3.3 OBJETIVO 2: Establecer el estatus actualizado del recurso	56
3.3.1 Evaluación del estatus basado en la biomasa desovante.....	56
3.3.2 Marco biológico de referencia	57
3.4 OBJETIVO 3: Análisis de Captura Biológicamente Aceptable.....	60
3.5 OBJETIVO 4: Programa de Mejoramiento Continuo.....	60
4. RESULTADOS	61
4.1 OBJETIVO 1: Implementar procedimientos de evaluación de stock.....	61
4.1.1 Ponderación de los datos y penalizaciones	61
4.1.2 Incertidumbre de modelo.....	66
4.1.3 Medidas de ajuste	71



4.1.4	Estimaciones de los parámetros	85
4.1.4.1	Selectividades	85
4.1.4.2	Mortalidades	88
4.1.4.1	Reclutamientos	89
4.1.4.1	Biomاسas	92
4.1.5	Resumen de la evaluación de stock.....	96
4.2	OBJETIVO 2: Establecer el estatus actualizado del recurso	97
4.2.1	Puntos biológicos de referencia	97
4.2.2	Evaluación del estatus basado en la biomasa desovante.....	98
4.2.3	Marco biológico de referencia	99
4.2.4	Resumen del estatus del stock de bacalao de profundidad	100
4.2.5	Estado de situación de la pesquería de bacalao de profundidad.....	100
4.3	OBJETIVO 3: Análisis de la Captura Biológicamente Aceptable.....	101
4.3.1	Caso 1: flotas artesanal e industrial chilenas y palangre y arrastre argentino.	102
4.3.2	Caso 2: flotas artesanal e industrial chilenas.	104
4.1	OBJETIVO 4: Programa de Mejoramiento Continuo.	106
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	108
6.	CONCLUSIONES	111
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112

ANEXOS

Anexo 1. Modelo de evaluación de stock (Descripción matemática).

Anexo 2. Estimación de índices de abundancia relativa.

Anexo 3. Residuales de los datos de composición de edad y longitud de las capturas y de los índices de abundancia relativa.



1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1 Objetivo general

Actualizar el estatus del recurso bacalao de profundidad e incertidumbre asociada, integrando la mejor información científica disponible, asesorando además al Comité Científico Técnico y a la Subsecretaría, en el análisis de posibilidades de explotación biológicamente sustentables y los niveles de riesgo involucrados frente a diversas fuentes de incertidumbre, en horizontes de evaluación de corto y mediano plazo.

1.2 Objetivos específicos

1. Implementar procedimientos de evaluación de stock basados en protocolos científicos para la determinación del estatus de merluza común con arreglo al nivel de conocimiento, información e incertidumbre correspondiente, conforme a los estándares actuales en ciencia pesquera.
2. Establecer el estatus actualizado de bacalao de profundidad, sobre la base de sus principales indicadores estandarizados de estado y flujo al menos por grupo de pesquerías, incorporando la incertidumbre de estimación involucrada, empleando el mejor conocimiento e información disponible a la fecha de ejecución del estudio, acorde con los estándares definidos por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y recomendados por el Comité Científico y Técnico respectivo.
3. Realizar los análisis estocásticos de las posibilidades futuras de explotación y la determinación de los niveles de Captura Biológicamente Aceptable (CBA) de bacalao de profundidad para la siguiente temporada extractiva año 2019, reportando el riesgo de no alcanzar los objetivos de conservación, considerando la incertidumbre de la estimación de sus indicadores y estados probables de la naturaleza, conforme a lo dispuesto por la Ley General de Pesca y Acuicultura y en el Plan de Manejo o Programa de Recuperación respectivo, según corresponda.
4. Informar el avance del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC) realizado durante el presente proyecto y consignar en un listado de comprobación (checklist) el cumplimiento de cada una de las recomendaciones realizadas en las revisiones por pares, cuando corresponda.



2. ANTECEDENTES

De acuerdo con la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA) de Chile, la Subsecretaría tiene la responsabilidad de elaborar el programa de investigación necesario para la regulación de la pesca y la acuicultura, cuyos resultados sirven de base para la fundamentación de las medidas de administración y conservación y en general para el proceso de toma de decisiones para la actividad pesquera extractiva (Párrafo 1º Artículo 91). Este programa incluye proyectos de investigación básica o permanente, que en el caso de la regulación pesquera y de acuicultura es efectuado por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) y considera, entre otros proyectos, la evaluación indirecta de los stocks con el objeto de determinar su estado de situación y las posibilidades de explotación biológicamente sustentable o captura total permisible (Párrafo 1º Artículo 92).

En este contexto el IFOP ejecuta el Convenio de Desempeño que incluye el estudio Estatus y Posibilidades de Explotación Biológicamente Sustentables de los Principales Recursos Pesqueros Nacionales al año 2019 entre los cuales se encuentra el stock de Merluza Común.

En consecuencia, el proyecto de Estatus y Posibilidades de Explotación de bacalao de profundidad constituye uno de los sustentos técnicos fundamentales para el proceso de toma de decisiones para la actividad pesquera extractiva de este recurso permitiendo establecer los rangos de Captura Biológicamente Aceptable (CBA).

2.1 Descripción del recurso

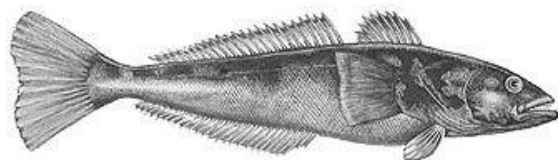


Figura 1. Bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898). Ilustración: Bruce Mahalski.

El recurso bacalao de profundidad (**Figura 1**), es conocido internacionalmente como Patagonian toothfish, Chilean Sea bass y merluza negra y es un pez de aguas profundas (50-3.000 m) perteneciente a la familia *Nototheniidae*.

D. eleginoides tiene una distribución circum-sub-Antártica encontrándose en la plataforma continental del sur de la Patagonia y Chile, alrededor de islas sub-antárticas (Georgias del Sur, Shag Rocks, Crozet, Kerguelen, Heard y MacDonal, Macquarie e islas del Príncipe Eduardo), bancos (e.g. Banco Banzare) y montes submarinos (e.g. Lena y Ob) entre las latitudes 45° y 62°.

Su distribución recorre la Convergencia Antártica y se extiende al norte hasta los 37° S en la plataforma Patagónica en el Atlántico (Nakamura 1986), desde el Norte de Perú hasta el extremo austral de Chile en el Pacífico (Oyarzún y Campos 1987, Guerrero y Arana 2009) y hasta los 40° en el Suroeste del océano Índico (Abellán 2005).

En el mar de Escocia, la distribución se extiende desde el Oeste de Shag Rocks hasta Georgia del Sur y la región Norte de las Islas Sandwich del Sur. El registro más austral corresponde a 61°24'S en aguas de la Isla King George (Arana y Vega, 1999) y el más septentrional al Estrecho Davis (63° 02° N, 53° 32° W, at a depth of 1,331 m) frente a Groenlandia (Møller et al. 2003). El bacalao de profundidad es común también en la región norte del Mar de Ross (Hanchet et al., 2004).

Durante su ciclo de vida, el bacalao de profundidad ocupa un amplio rango batimétrico. Típicamente, la fase juvenil la pasan en aguas someras y el reclutamiento puede estar concentrado sobre áreas espaciales reducidas. Los juveniles permanecen en aguas someras por los siguientes 4-5 meses. En la plataforma Patagónica, la Isla de los Estados es la principal área de reclutamiento, aunque los reclutas también ocurren en pequeños números a través de la plataforma sur de la Patagonia (Collins et al., 2010).

Cuando alcanzan un tamaño de 50–70 cm. LT, los juveniles de bacalao se dispersan y migran gradualmente hacia aguas más profundas a través del talud continental, lo que puede estar asociado con cambios tanto en crecimiento como en la dieta. En general los adultos de bacalao ocupan aguas



profundas (>500 m). El bacalao de profundidad muestra entonces el típico patrón de estratificación por tamaño con la profundidad, común en muchos peces de aguas profundas (Collins et al., 2010).

El estudio genético de Galleguillos et al. (2008) sugiere la existencia de una sola gran población que distribuida desde el norte del Perú hasta el extremo austral de Chile y desde allí hasta las costas de Argentina, incluyendo las Islas Malvinas.

D. eleginoides es un desovador sincrónico con dos grupos de ovocitos de diferente tamaño, el grupo de ovocitos de mayor tamaño es desovado en un solo evento durante el año en curso, en tanto que el grupo de ovocitos de menor tamaño continua su desarrollo hasta la siguiente estación reproductiva (Kock y Kellermann 1991, Young et al., 1999).

D. eleginoides tiene una longevidad de 35 a 53 años (Kalish y Timmiss 1998, Horn 2002, Oyarzún et al. 2003b) y alcanza su primera madurez sexual a los 8-10 años de edad (Kock et al. 1985).

En general, la dieta de los peces adultos es de tipo generalista con tendencia a los peces óseos (Oyarzún et al. 2003b, Collins et al. 2010, López et al. 2014). Con el incremento en tamaño de los individuos, la dieta cambia para incluir especies de mayor tamaño y de distribución más profunda (Arkhipkin et al. 2003).

Los datos acerca de los depredadores del bacalao de profundidad son relativamente limitados. En aguas someras, los reportes de depredadores de juveniles incluyen pingüinos (Goldsworthy et al., 2001), lobos marinos (Reid y Arnould, 1996) y elefantes marinos (Reid y Nevitt, 1998), pero con el incremento de tamaño y profundidad del hábitat, probablemente el rango potencial de depredadores se reduce (Collins et al., 2010).

Los depredadores más importantes de los adultos, son probablemente grandes vertebrados capaces de bajar hasta aguas profundas, tales como cachalotes (*Physeter macrocephalus*) y elefantes marinos (*Mirounga leonina*; Reid y Nevitt, 1998), que tienen la capacidad de sumergirse hasta el hábitat del bacalao. Se tienen registros de bacalao en estómagos de ballenas de esperma (Abe y Iwami 1989) y a pesar de que en general son considerados como depredadores de calamares, son potencialmente también importantes depredadores de bacalao.

Cachalotes y orcas (*Orcinus orca*) capturan bacalao desde los espineles durante las operaciones de virado de estos aparejos (Ashford et al., 1996, Nolan et al., 2000, Kock et al., 2006, Purves et al., 2004, Rubilar et al., 2014).



2.2 Pesquería

2.2.1 Escenario internacional

La investigación del bacalao de profundidad como un recurso pesquero potencial se inició en Chile en los años 50s con pescas exploratorias a bajas profundidades (Guerrero y Arana 2009; Moreno 1991). La pesquería comercial de bacalao fue iniciada por el sector artesanal en 1970 en la V Región de Chile (Guerrero y Arana 2009) a la que se sumó luego la Región VIII y en los años 80s las regiones I y VIII.

La actividad pesquera en aguas subantárticas en los años 70 y entonces el bacalao de profundidad era capturado en pequeñas cantidades como fauna acompañante en la plataforma Patagónica y en las pesquerías de marbled rockcod (*Notothenia rossii*) y Grey rockcod (*Lepidonotothen squamifrons*) alrededor de las islas Georgias del Sur y Kerguelen (Australian Antarctic Division 2001). De este modo, cuando en 1985 se descubrieron cantidades comerciales de bacalao de profundidad en las Kerguelen, el mercado norteamericano de este recurso ya se encontraba establecido (Salas *et al.* 1987, Australian Antarctic Division 2001).

Debido al alto precio del producto en el mercado internacional, la pesquería rápidamente se expandió a otras áreas incluyendo las islas Georgias del Sur, Marion, Crozet y Príncipe Eduardo, Macquarie y Heard (Australian Antarctic Division 2001).

Solamente contabilizando las capturas legales, los desembarques en la zona de CCAMLR y aguas territoriales se incrementaron desde menos de 5.000 t en 1983 a 40.000 toneladas en 1992 (**Figura 2**).

La pesca de bacalao de profundidad se inició con el uso de arrastre de fondo, sin embargo, hoy la mayor parte de los desembarques corresponden a pesca de palangre (o modificaciones e.g. cachalotera) con excepción de la pesca Australiana y la pesca Francesa desarrollada en Kerguelen (Australian Antarctic Division 2001).

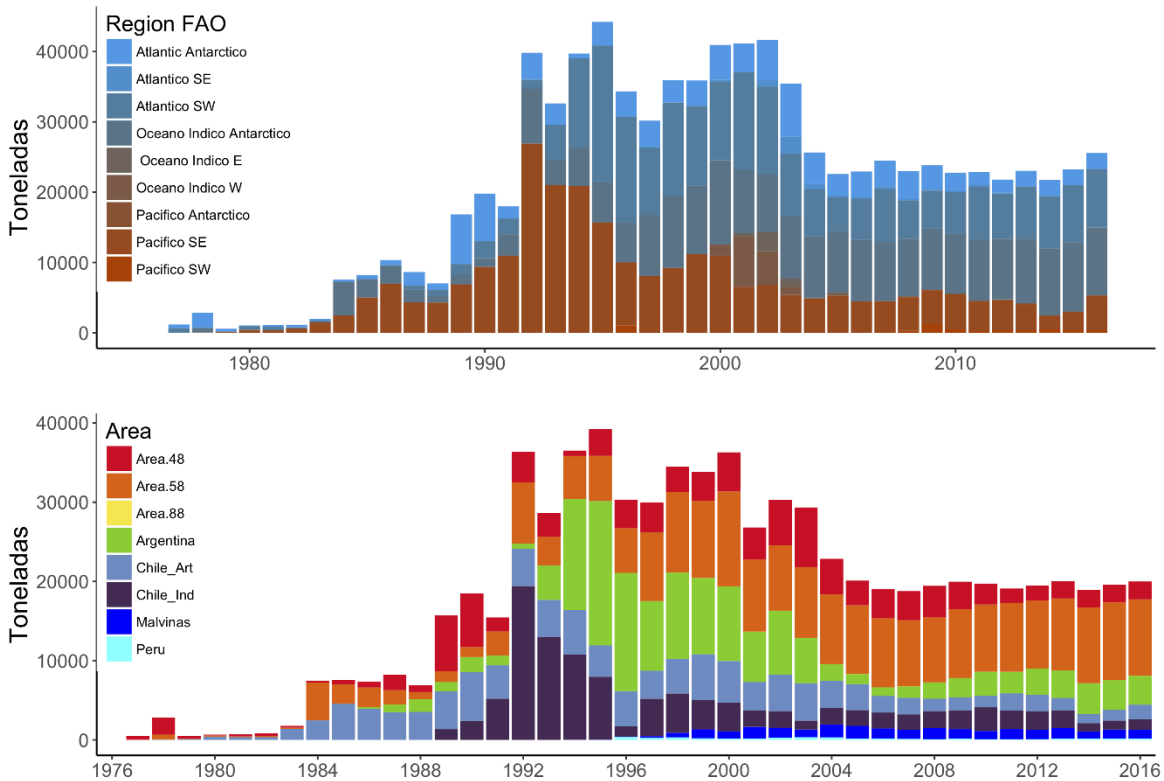


Figura 2. Desembarques anuales de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) en diferentes regiones (Fuente FAO; IFOP, IMARPE).

En Georgia del Sur la pesca de espinel comenz3 con barcos de la Uni3n Sovi3tica a fines de los a3os 80s, a los que luego se sumaron barcos de Chile, Bulgaria y Ucrania (**Figura 3**). En 1993/1994 la CCAMLR design3 la regi3n de Georgia del Sur como un 3rea especial para la protecci3n y el estudio cient3fico. El despliegue de observadores cient3ficos demostr3 la severidad de la pesca incidental de aves, lo que condujo a limitar la pesca s3lo a los meses de invierno (Agnew 2004). Una peque3a pesquer3a tambi3n se desarrolla en las Islas Sandwich del Sur (Roberts y Agnew 2008, CCAMLR 2009).

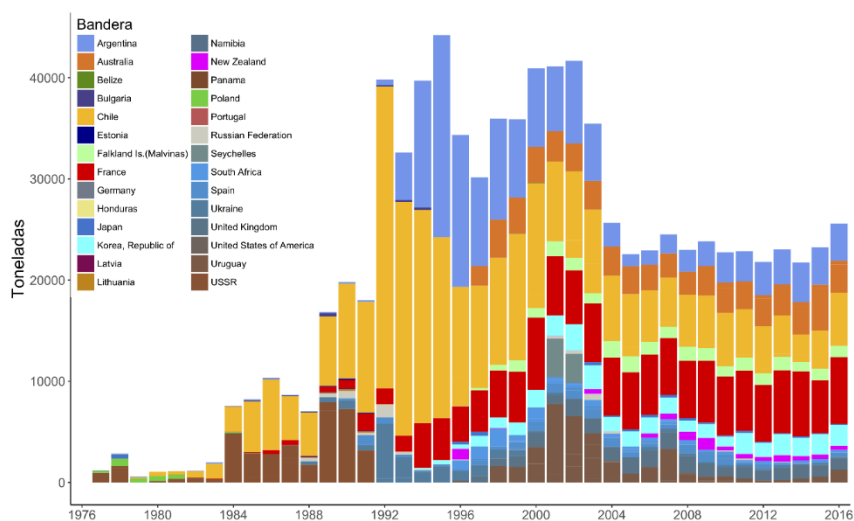


Figura 3. Desembarques anuales de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) declarados bajo diferentes pabellones (Fuente FAO).

En 1984/1985 barcos de la Unión Soviética encontraron bacalao de profundidad en la plataforma oeste de la Isla Kerguelen e iniciaron una pesquería de arrastre dirigida a grandes concentraciones de juveniles de este recurso (**Figura 3**). La pesquería de palangre se inició en Kerguelen en 1991 y desde inicios del año 2000 esta pesquería se ha desarrollado exclusivamente usando el espinel (Lord *et al.*, 2006). Las operaciones de pesca en Kerguelen se desarrollan durante todo el año y las capturas legales son del orden de las 5.000 toneladas por año (**Figura 2**).

En 1996 se desarrolló una pesquería de arrastre dirigida al bacalao de profundidad y icefish (*Champsocephalus gunnarí*) en las islas Heard y McDonald (**Figura 2**). En los años 2002/2003 esta pesquería fue abierta también a la pesca de palangre. La plataforma de las islas Heard y McDonald es contigua con la plataforma de la isla Kerguelen de modo que es probable que las pesquerías de estas localidades estén explotando el mismo stock.



En la isla Crozet, la pesquería de palangre comenzó en 1996/1997 con capturas reportadas del orden de 1.200 toneladas. Actualmente las capturas legales son menores a 1.000 toneladas por año, pero entre los años 1995 y 2002 esta pesquería estuvo sujeta a una considerable pesca ilegal (**Figura 2**).

La pesquería de las Islas Príncipe Eduardo, que se extiende por el borde de la CCAMLR, comenzó en 1996/1997 como una pesquería estacional (mayo a agosto), pero estuvo sujeta a altos niveles de pesca ilegal, no reportada y no regulada (IUU) y se estima que sólo en 1997 se extrajeron 21.000 toneladas. En un intento de resistir la pesca ilegal la pesquería fue abierta durante todo el año en 1998 pero las tasas de captura (tanto legales como ilegales) declinaron abruptamente (Brandao *et al.*, 2002). Hoy se le ha puesto freno a la pesca ilegal en tanto que las capturas legales son de alrededor de 200 toneladas por año (Australian Antarctic Division 2001).

La pesca de bacalao de profundidad también ha tenido lugar en bancos aislados y montes submarinos de la CCAMLR, tales como el Banco Banzarre y los montes Ob y Lena. Las pesquerías en estas áreas fueron sobreexplotadas rápidamente y hoy permanecen agotadas (McKinlay *et al.*, 2008).

A fines del año 1994 se inició la pesquería de isla Macquarie, cuando se detectaron agregaciones de bacalao en el Aurora Trough y 2 años después la pesca se extendió a la Dorsal de Macquarie. Inicialmente las capturas de esta región excedían las 1.000 toneladas por año, pero luego la pesquería fue cerrada. Esta región fue abierta a la pesca nuevamente en el año 2003 con una reducida CTP. El principal método de pesca ha sido aquí el arrastre, pero en años recientes se ha efectuado pesca experimental con palangre. Las cuotas de pesca son aproximadamente 300 toneladas para la Dorsal de Aurora y 100 toneladas para la Dorsal Macquarie (Phillips *et al.* 2009).

La pesquería argentina comenzó en los 90s alcanzando su mayor captura en 1995 con 19.225 toneladas (**Figuras 2 y 3**), sin embargo, desde entonces las capturas se han reducido. En la plataforma patagónica el bacalao de profundidad era inicialmente capturado como fauna acompañante en la pesquería de arrastre, pero luego se establecieron pesquerías de espinel tanto en Argentina como en las Islas Malvinas. Debido a recomendaciones del INIDEP¹, desde el año 2000 se exigen capturas documentadas y se ha regulado el tamaño de los anzuelos, establecido un tamaño mínimo de captura, profundidades mínimas de operación y un área de protección de juveniles.

La pesca de espinel comenzó en las Islas Malvinas como una pesca experimental en 1992 y se estableció en 1994 (Laptikhovsky y Brickle 2005). Las capturas alcanzaron un máximo de 2.733 toneladas en 1994 y luego se estabilizaron en el rango de las 1.200 - 1.800 toneladas (**Figura 2**).

¹ Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero de Argentina



En el Uruguay *D. eleginoides* se encuentra presente tanto en la ZEE como en la Zona Común de Pesca (ZCP) compartida con la Argentina. La pesca exploratoria llevada a cabo en 1998 indicó que la merluza negra tiene bajos niveles de abundancia. La flota arrastrera de manera histórica ha mantenido pequeñas capturas de merluza negra juvenil como pesca incidental en la pesca de otros recursos y ha sido vendida en el mercado local. Sin embargo, el nivel de abundancia no es considerado suficiente para soportar una pesca dirigida a la especie (Cajal y García Fernández 2002).

2.2.2 Pesquería chilena de bacalao de profundidad

El primer reporte de capturas de este recurso en Chile se remonta al año 1888 frente al Archipiélago de los Chonos (De Witt, 1962). Más tarde en prospecciones pesqueras realizadas en 1955 frente a Valparaíso, se registraron capturas de bacalao juntamente con congrio dorado. Durante la década de los 60s y 70s se realizaron una serie investigaciones pesqueras principalmente en la V Región, en donde se analizaron tanto el desempeño del arrastre como del espinel de fondo, al igual que la selectividad y rendimiento del espinel probando diferentes diseños, numeración de anzuelos y tiempos de reposo, e incluso se estudió el desempeño del enmalle en la VIII Región. Estas investigaciones establecieron que entre las latitudes 18°20' y 41° S el rango de distribución batimétrica del recurso se encontraba entre los 500 m y 2.500 m de profundidad. Los antecedentes de la actividad pesquera indicaban entonces que la distribución del bacalao no era continua en el talud, sino que este presentaba focos de abundancia en caladeros particulares (Salas *et al.* 1987).

La pesquería como tal se inició en 1970 con la actividad de una flota artesanal de la V Región (Guerrero y Arana 2009) incorporándose luego la VIII Región y a mediados de los años 80s la pesca ya se había extendido entre las regiones I y VIII. Este desarrollo fue motivado por una fuerte demanda en el mercado norteamericano, lo que facilitó la formación de numerosas pequeñas y medianas empresas orientadas a la exportación de bacalao. Estas empresas operaban abastecidas por el sector artesanal a quienes estas habilitaban para su operación. El sector artesanal recibió también apoyo financiero a través de la línea de créditos CORFO/BID lo que les permitió incorporar y/o adecuar embarcaciones y renovar sus equipos de pesca (Salas *et al.* 1987). Así esta pesquería experimentó un crecimiento explosivo en la década de los años 80s, pasando de desembarques del orden de 38 toneladas en 1978 a casi 7.000 toneladas en 1986 (**Figura 4**).

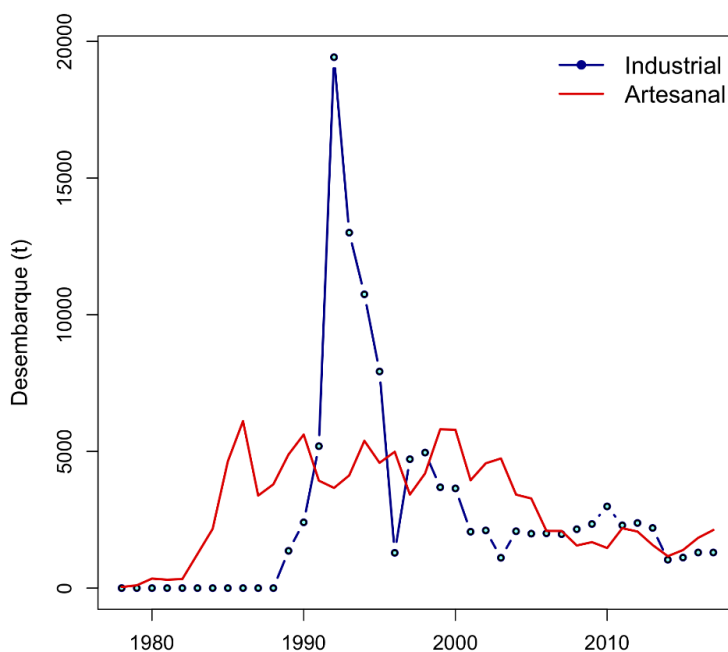


Figura 4. Desembarques anuales de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) en el espacio marítimo Chileno (Fuente: SERNAPESCA, IFOP).

Young *et al.* (1997) describen para los años 1986 a 1996 la existencia de un patrón latitudinal en los rendimientos de pesca, con menores rendimientos en la zona de Caldera a Constitución, rendimientos intermedios en el área de Lebu y mayores rendimientos en la zona de Valdivia. Estos autores describen también el desplazamiento del esfuerzo de pesca hacia la región sur del país, en particular hacia el puerto de Valdivia, que hacia el final de este período experimentó una importante inmigración de embarcaciones desde otros puertos. En este estudio se estableció también que los rendimientos de pesca habían experimentado una significativa reducción con el tiempo.

En años recientes, la pesquería artesanal de bacalao de profundidad se ha desarrollado en aguas de la XI Región, con el puerto de Quellón como el principal centro de desembarque (Oyarzún *et al.*, 2003 b). Esto constituyó la etapa final en el progresivo desplazamiento hacia el sur de la flota artesanal desde que se inició esta pesquería, el que se caracterizó por una búsqueda constante del recurso al objeto de mejorar o mantener sus rendimientos de pesca (Young *et al.* 1997).

Al inicio de los años 90s, la pesquería demersal austral que se había desarrollado entre la segunda mitad de los años 70s y primera mitad de los 80s, se encontraba en una situación crítica debido al estado de deterioro de los stocks de merluza del sur y congrio dorado (Aguayo *et al.*, 1991). Lo anterior motivó a los barcos arrastreros fábrica a destinar un mayor esfuerzo de pesca hacia la merluza de cola y a los buques arrastreros hieleros a orientar un mayor esfuerzo hacia la merluza común.



Por el contrario, las flotas espinelera hielera y espinelera fábrica, que comenzaron a operar en la zona sur austral de Chile en el año 1986, no contaban con un recurso alternativo que les permitiera continuar operando. Esta situación llevó a la Subsecretaría de Pesca de Chile a formular políticas de manejo orientadas a diversificar la explotación pesquera de la región demersal austral hacia otras especies a fin de disminuir la presión de pesca sobre la merluza del sur y el congrio dorado y estimular el aprovechamiento de recursos alternativos que permitieran a las flotas operar durante todo el año (Aguayo *et al.*, 1991; Young *et al.*, 1995).

Es así que el bacalao de profundidad emergió como la alternativa para materializar esta política de diversificación en la flota espinelera, su alto valor comercial y la posibilidad de captura selectiva, lo convertían en una opción con perspectivas para el desarrollo de una nueva pesquería. En concordancia con esta política, entre 1990 y 1991 la Subsecretaría de Pesca autorizó pescas exploratorias de bacalao en la XI y XII Regiones, las que permitieron comprobar que el recurso se encontraba disponible en el área (Young *et al.*, 1997).

Los resultados obtenidos posibilitaron abrir la pesquería del bacalao al sur del paralelo 47° bajo un régimen de pesquería incipiente, la que es manejada sobre la base de cuotas de captura individuales transferibles. De esta manera la pesquería chilena de bacalao quedó dividida en dos zonas: la zona Norte, entre el límite Norte del país (18° 21') y el paralelo 47°, es reservada exclusivamente para la pesca artesanal. En la zona sur (47° S – 57° S), el recurso soporta una pesquería industrial (**Figura 4**).

Algunas áreas en alta mar, por fuera de la jurisdicción nacional, también han sido explotadas por las empresas pesqueras chilenas, entre las más notables la Dorsal de Scotia entre Shag Rocks y las Malvinas. En estas áreas, las capturas no fueron limitadas y los stocks fueron rápidamente agotados.

La pesquería chilena de bacalao de profundidad ha sido instrumental en el desarrollo de nuevos e innovadores aparejos de pesca, tales como los experimentos en la V Región en los años 80s con espinel de fondo (Salas *et al.* 1987) y posteriormente el desarrollo de la cachalotera (Moreno *et al.*, 2006, 2008).

2.2.3 Pesquería argentina de bacalao de profundidad

En la pesquería argentina de bacalao de profundidad han operado dos conjuntos de barcos, una flota que opera con palangre y otra que emplea el arrastre de fondo.

Desde sus inicios, en el año 1990, la operación con palangre constituyó una pesca dirigida efectivamente hacia el recurso y su área de operación cubría prácticamente todo el rango de distribución del recurso en la plataforma argentina. Esta pesquería fue también la responsable del mayor desembarque histórico de bacalao, registrado en el año 1995, luego de lo cual las capturas y los rendimientos de pesca de esta flota se redujeron notablemente (**Figuras 2, 3, 5**).

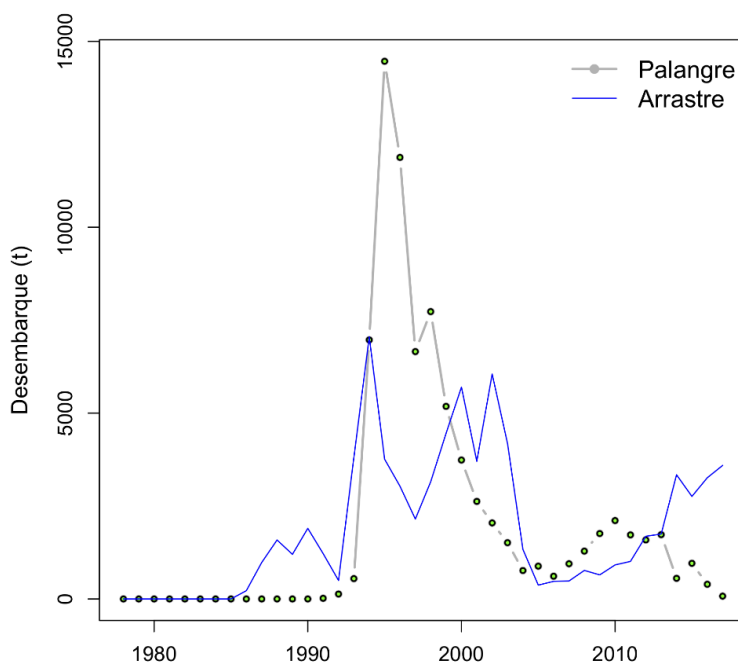


Figura 5. Desembarques anuales de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) en el espacio marítimo Argentino (Fuente: INIDEP).

La flota que opera con arrastre de fondo inició su operación en 1980 pero las capturas no fueron significativas sino hasta 1987. La mayor parte de los lances de esta pesca se realizaban entre 100 m y 500 m de profundidad con un gran impacto sobre la fracción juvenil de la población.



Medidas implementadas por la administración pesquera Argentina en 1999 con el objetivo de proteger al stock patagónico de merluza (*Merluccius hubbsi*) causaron un incremento en la asignación del esfuerzo de pesca de esta flota hacia el bacalao de profundidad, la que concentró sus operaciones en las cuadrículas estadísticas 5462 y 5463 localizadas en la vecindad de la Isla de los Estados, donde esta flota realizó el 90% de la captura del año 2000 incrementando su rendimiento significativamente. El monitoreo de las capturas en los años 2000 y 2001 permitió establecer que estas se componían de un 97% de ejemplares de tamaño inferior a 82 LT cm, longitud empleada por INIDEP para clasificar los individuos como juveniles (Martínez y Wöhler 2016).

Estos indicadores, en conjunto con el conocimiento de historia de vida de la especie motivó a INIDEP, representantes de la industria y la administración pesquera, a regular esta actividad a través de la resolución SAGPyA N°19/2002² que entre otras disposiciones definió el Área de Protección de Juveniles de Merluza Negra (APJMN) en las cuadrículas 5462 y 5463, fijó en 15% el porcentaje de juveniles permitidos en la composición de las capturas dirigidas a este recurso y estableció la obligatoriedad de embarcar observadores científicos e inspectores en los barcos de esta flota (Martínez y Wöhler 2016).

Esta disposición permitió reducir el porcentaje de juveniles en las capturas y mejorar la información biológica y pesquera para soportar la toma de decisiones de administración (Martínez y Wöhler 2016).

De este modo los rendimientos de los buques arrastreros se incrementaron entre los años 1993 y 2003 pero luego experimentaron una significativa reducción.

Al mismo tiempo, el número de barcos que componen la flota palangrera ha ido en una gradual disminución, desde un máximo de 24 en 1996, 3 en el año 2013 (Wöhler, 2013) y 1 en 2017 (que sólo realizó una marea). La reducción del tamaño de esta flota ha sido una consecuencia de cambios introducidos en la modalidad de manejo de esta pesquería, principalmente el otorgamiento de cupos limitados de captura para la especie (Martínez y Wöhler, 2005, 2006, Wöhler y Martínez, 2005).

En tanto que actualmente participan en la pesquería (con cuota de pesca asignada) 5 barcos arrastreros (Wöhler 2013).

² Secretaría Argentina de Agricultura, Pesca y Acuicultura



2.2.4 Pesquería peruana de bacalao de profundidad

Los registros de pesca oficiales de *D. eleginoides* en el Perú se inician en 1995 (**Figura 6**) con la operación de la empresa SIPESA pionera en la pesca de bacalao de profundidad en Perú y en la colocación del producto peruano en el mercado de Estados Unidos. Posteriormente, en 1999 se inició oficialmente la pesquería de bacalao de profundidad en el Perú, y la especie se convirtió en el principal producto de exportación en la categoría de fresco refrigerado (Sancho 2000).

El desarrollo posterior de la pesquería fue impulsado en el año 2001, por iniciativas y convenios de cooperación tanto entre empresas pesqueras peruanas y españolas como con colaboración con el Gobierno Español que, a través de su Subsecretaría de Pesca Marítima, puso en marcha una campaña de pesca experimental para evaluar la viabilidad de la explotación de bacalao de profundidad y otras especies demersales en el Perú. Esta campaña se llevó a cabo mediante tres buques palangreros que prospectaron la ZEE del Perú, desde el norte hasta el sur de la plataforma y el talud (Sancho 2000, Aramayo 2016).

Sin embargo, los desembarques de este recurso en Perú han sido muy variables tanto en las capturas obtenidas como en las zonas de pesca que han sido reportadas, lo que se debería a la fuerte influencia que ha ejercido el mercado sobre la explotación de esta especie (**Figura 6**; Aramayo 2016).

La flota palangrera que opera sobre el bacalao de profundidad estuvo inicialmente conformada por embarcaciones tanto de menor escala (1-32 m³) como de mayor escala (32,6-110 m³). Sin embargo, en el presente la pesca es realizada por 6 embarcaciones con una capacidad de bodega que no supera los 32.56 m³ y que operan a lo largo del litoral. El 100% del producto es exportado en forma de congelado/refrigerado (Aramayo 2016, IMARPE 2016).

Con relación a la distribución espacial del esfuerzo, las zonas de pesca parece haber ocurrido progresivamente desde el inicio formal de la pesquería de bacalao de profundidad (1994-2001), cuando las pescas exploratorias buscaron bacalao en la región sur de la costa peruana (por simple referencia latitudinal a la pesquería de bacalao que se realizaba en Chile), un período de transición que incluye la ejecución del Reglamento Operativo de Pesca (ROP) del bacalao de profundidad, su aplicación, restricciones (2002-2006) y finalmente, un período actual (2007-2013) (Aramayo 2016). Sin perjuicio de ello, desde un punto de vista histórico, las zonas de pesca de las costas central y sur de Perú han sido las más importantes (IMARPE 2016).

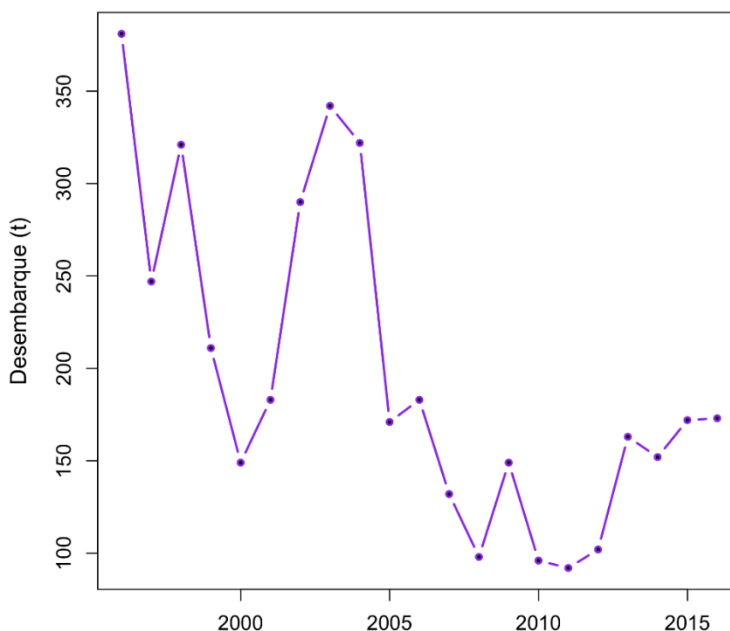


Figura 6. Desembarques anuales de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) en Per3 (Fuente: IMARPE 2017).

La reglamentaci3n de pesca del bacalao de profundidad se rige por el ROP (Resoluciones Ministeriales N3 252-2000-PE y N3 236-2001-PE) que apunta a regular el n3mero de embarcaciones de pesca y el esfuerzo de pesca mediante la limitaci3n de permisos de pesca para nuevas embarcaciones. Sin embargo, debido a que la pesca es desarrollada por embarcaciones de menor escala que, no est3n obligadas a instalar a bordo un sistema de seguimiento por sat3lite (SISESAT), capturas IUU, dificultan el monitoreo y registro de la informaci3n biol3gica y pesquera y como consecuencia de ello el conocimiento que se tiene acerca de la poblaci3n de *D. eleginoides* en aguas peruanas es limitado, con el consecuente efecto que esto tienen para implementar un ordenamiento efectivo de su pesquer3a (Aramayo 2016).

Sin perjuicio de lo anterior, con soporte en un modelo de biomasa din3mica de Schaefer (1954), se ha establecido que en el a3o 2017 el recurso se encontrar3a en estado de sobreexplotaci3n (por debajo de la biomasa que produce el RMS) y se ha enfatizado la importancia de mejorar el monitoreo de la actividad mediante el despliegue de observadores cient3ficos y la mantenci3n de los procedimientos de recopilaci3n de bit3coras de pesca (IMARPE 2016).

En el a3o 2016 Per3 estableci3 una cuota de captura para este recurso de 135 toneladas R. M. N 264-2016-PRODUCE (IMARPE 2016).



2.2.5 Aparejos y métodos de pesca

El principal método de pesca usado para capturar adultos de bacalao de profundidad es el espinel o palangre de fondo, en donde una línea larga de anzuelos encarnados es desplegada en el fondo a profundidades de hasta 2.000 m. Boyas dispuestas en la superficie señalan la presencia de las líneas. El buque típicamente recupera las líneas luego de un tiempo de reposo de 24 a 48 h. Las líneas son caladas por la popa de la embarcación y son luego recuperadas a través de una escotilla ubicada a estribor. La carnada es usualmente calamar o sardina. Los barcos palangreros industriales son en general pequeños (30 – 80 m).

En Chile se han empleado dos tipos de espinel: el sistema español (doble línea) y la cachalotera o sistema trotline, este último normalmente incluye redes de exclusión de cetáceos (cachaloterías) (**Figura 7A y 7B**).

El sistema trotline es una modificación del sistema español en el cual la línea madre (en donde se disponen los anzuelos) se elimina y los anzuelos son puestos en las líneas secundarias que llevan peso. Esto produce un incremento en la velocidad de hundimiento del aparejo durante su calado, eliminando así la mortalidad de aves regularmente observada en las operaciones con el sistema español (Moreno *et al.*, 2008, Goetz *et al.*, 2011).

Los operadores industriales de la pesquería chilena incluyeron al sistema trotline un cono de red en las líneas secundarias, de tal manera que durante la recuperación del aparejo los peces capturados son cubiertos por este cono, lo que contribuye a reducir la depredación por mamíferos marinos (Moreno *et al.* 2008, Goetz *et al.* 2011; **Figura 7D**). El término cachalotera se utiliza indistintamente para referir el sistema trotline modificado incluyendo el cono de red, o para referir una unidad compuesta por: una línea secundaria (*barandillo*), un cono de red, el “*racimo*” de anzuelos y el peso (**Figura 7C**). El sistema se cala en líneas que reciben el nombre de *caceas* y que tienen una longitud media de 14 km cada una con 720 a 780 líneas secundarias o barandillos. En Chile, dependiendo de la empresa/operador, cada cachalotera incluye un racimo de 6, 8 o 10 anzuelos (**Figura 7C**).

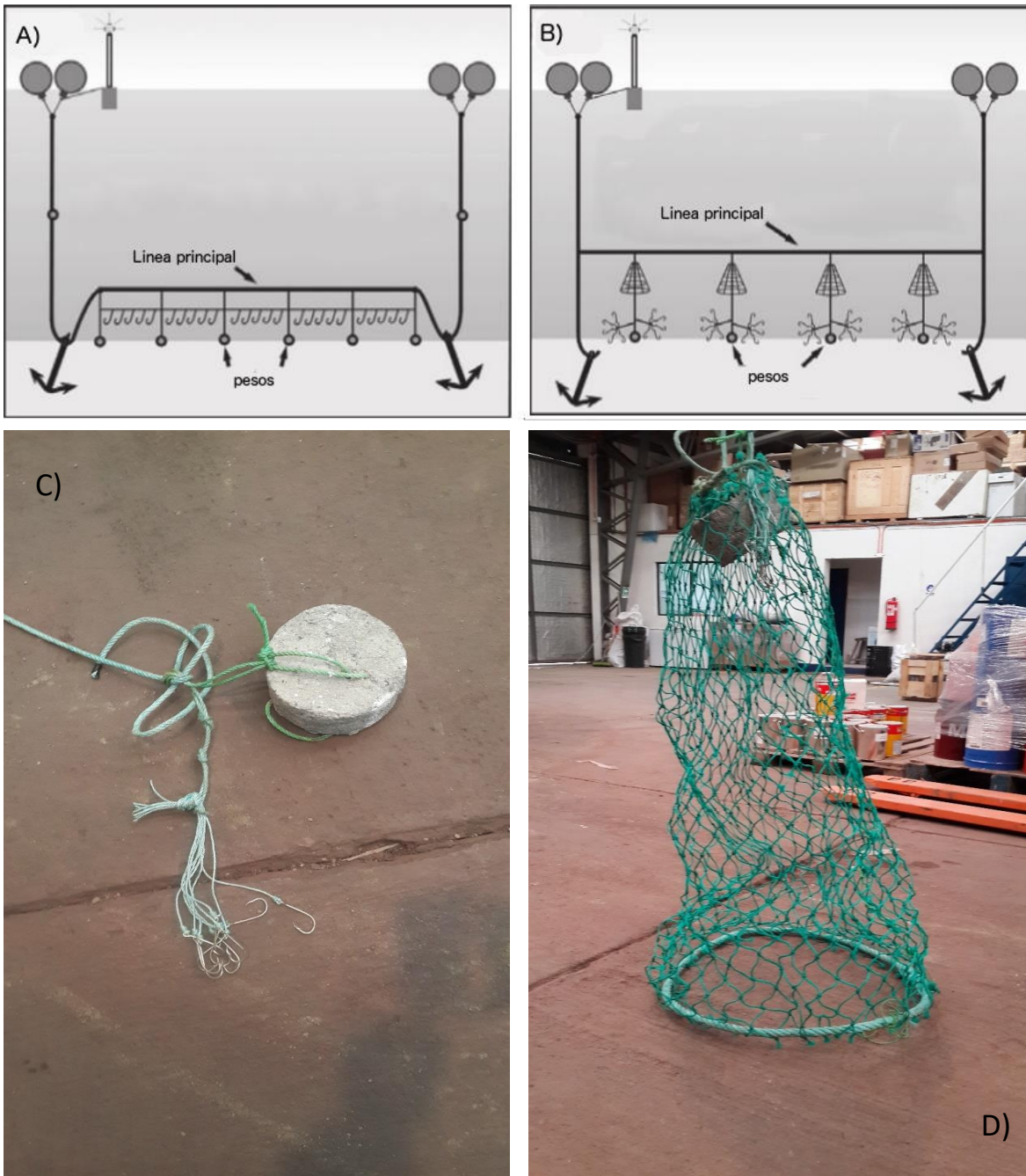


Figura 7. Ilustración de los sistemas de espindel usados en Chile. (A) palangre español (sistema de doble línea), (B) sistema trotline con cachaloterías (Modificado de Collins *et al.* 2010). (C) racimo de anzuelos y peso; (D) posición de la cachalotería durante el virado donde se observa el cono de red. (Fotos: Globalpesca SpA.).



En Chile la cachalotera fue introducida en el año 2006 (Moreno *et al* 2008) y su adopción fue gradual entre los años 2006 (26% de las operaciones) y 2007 (41%). A partir del año 2008, todos los barcos emplean la cachalotera. En Argentina la cachalotera fue introducida en el año 2009 y hasta el año 2012 se encontraba en uso en el 50% de la flota, representando entre el 42% y 60% de las operaciones. En el presente, la captura de bacalao en Argentina se realiza casi exclusivamente con red de arrastre de fondo (Fuente: INIDEP).

Reducciones significativas en la depredación por parte de mamíferos marinos y su excelente desempeño con respecto a la mortandad de aves marinas (Moreno *et al.* 2008), condujo a su adopción generalizada en la pesquería chilena y en años recientes también se usó en la pesquería argentina. A pesar de su relativa efectividad para solucionar o mitigar las interacciones con la vida salvaje, el aparejo puede tener un efecto significativo (y se han descrito efectos tanto positivos como negativos) en las tasas de captura y por lo tanto es altamente probable que este exhiba una capturabilidad diferente a la del aparejo tradicional (Rubilar *et al.* 2010, Goetz *et al.*, 2011).

Durante la temporada de pesca se observó una modificación adicional a la cachalotera, consistente en una extensión al cono de red de aproximadamente 70 centímetros de malla, con un cono monofilamento que acciona el cierre del cono durante el virado. Esta innovación fue observada en un barco al inicio de la temporada 2017 y en septiembre del mismo año se extendió a la totalidad de la flota. El sistema a logrado reducir la perdida de pesca por depredación pero el pescado aún sufre daños por esta causa (**Figura 8**).

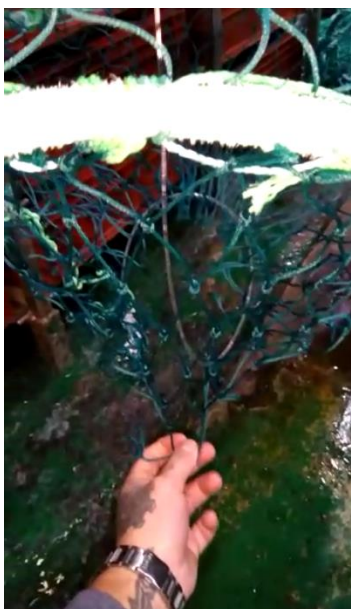


Figura 8. Fotografía que muestra la malla adicional incluida para cerrar el cono durante el virado y el monofilamento al centro que acciona el mecanismo de cierre (Fuente: IFOP).



El adecuado análisis de esta situación implica que las variables operacionales relevantes deben ser monitoreadas regularmente por los programas de recopilación de datos.

Al inicio de la pesquería artesanal, el aparejo empleado era un espinel de fondo horizontal y se calaban líneas de 6 a 14 mil metros de longitud de línea madre, con reinales separados entre 0,7 y 1,8 m, se empleaban anzuelos de diseño recto, en un número que fluctuaba entre 3.000 y 10.000 unidades por lance y la línea se calaba muy próxima al fondo (Young *et al.*, 1997).

Hacia el final de los años 80s, se introdujo el uso de anzuelos curvos con un impacto positivo en los rendimientos de pesca y el diseño del aparejo artesanal se modificó, pasando de un diseño horizontal a uno mixto (horizontal y vertical; el denominado sistema trotline) de tamaño notablemente menor, lo que permite operar con un mayor control del aparejo en sectores de más difícil acceso. Este diseño del espinel se generalizó en la pesquería artesanal a partir del año 1992, donde durante las operaciones de pesca se comenzó a calar entre dos a cuatro líneas diarias (Young *et al.*, 1997).

El arte de pesca artesanal en actual uso consta de una línea principal o línea madre de unas 300 a 500 brazas (555 a 926 m) de longitud, la cual lleva intercalado a intervalos de 3 brazas, las líneas secundarias o patas de longitud variable (1 a 4 m) (Oyarzún *et al.*, 2003b).



2.3 Modelo conceptual

La mejor evidencia es que el recurso bacalao de profundidad en la región Patagónica/plataforma de Sudamérica constituye un solo stock (Galleguillos *et al.* 2008, Polacheck 2015). Sin embargo, actualmente la información disponible es insuficiente para determinar el grado de estructuración espacial y temporal de los reclutas y desovantes a través de toda esta región.

Modelos conceptuales alternativos pueden involucrar diferencias importantes en términos del estatus y manejo del recurso y por esta razón en la evaluación de stock es importante considerar conceptuales representativos del rango de alternativas posibles.

Desde esta perspectiva, en la evaluación de stock de stock de bacalao de profundidad se consideran dos casos:

Caso 1

Descripción: considera las pesquerías industrial y artesanal chilenas (plataformas Pacífica y Patagónica) y las pesquerías de palangre y arrastre de Argentina (toda la ZEE de Argentina).

Las poblaciones del Pacífico y Atlántico están conectadas a través la mezcla de adultos en el área de desove y posiblemente mediante un intercambio limitado de juveniles/sub-adultos. De este modo, el reclutamiento en las plataformas Pacífica y Patagónica depende de la biomasa desovante combinada de ambos océanos.

Soporte: existe un área de desove continua entre el Pacífico y el Atlántico y los datos disponibles de marcaje y recaptura sugieren un intercambio de individuos entre los dos océanos.

Consecuencias: la pesquería en Chile no puede ser evaluada efectivamente sin considerar las pesquerías del Atlántico.



Caso 2

Descripción: considera sólo la plataforma Pacífica (latitudes 18°30' a 57° S. aproximadamente) incluyendo las pesquerías artesanal e industrial de Chile exclusivamente.

El stock distribuido en el Pacífico está esencialmente cerrado con respecto a los desovantes y el reclutamiento (i.e. no existe una migración significativa de larvas, juveniles o adultos desde el lado Atlántico).

Soporte: La fuerte y persistente estructura de corrientes alrededor del cono Sur, el limitado movimiento exhibido por los juveniles (de acuerdo con los datos disponibles de marcaje) y las limitaciones fisiológicas que impiden al bacalao adulto nadar grandes distancias, restringen la conexión entre las poblaciones de los océanos Atlántico y Pacífico.

Consecuencias: La pesquería en Chile puede ser evaluada sin considerar las capturas registradas en el Atlántico.



2.4 Parámetros de historia de vida.

2.4.1 Mortalidad natural

Con la excepción de los modelos de biomasa dinámica (Schaefer 1954), todos los modelos de dinámica de peces requieren la tasa instantánea de mortalidad natural (M) como un parámetro. Este es sin embargo extremadamente difícil de medir de manera directa y dado que la mayoría de las poblaciones evaluadas han sido explotadas por un tiempo antes de que se realizaran observaciones científicas, la separación de la mortalidad total (Z) en la mortalidad atribuible a la pesca (F) y M es problemática (Vetter 1988, Cook 2004).

En la mayoría de los casos, las estimaciones de M son entonces realizadas de manera indirecta a partir de características biológicas de la especie, tales como la longevidad y la tasa de crecimiento y (Cook 2004) y su valor es asumido como una constante que es específica para el stock que se está evaluando. Sin embargo, estas estimaciones son inciertas el valor de M para un determinado stock presumiblemente experimenta variaciones importantes (Vetter 1988, Clark 1999).

La abundancia de muchos stocks de peces es estimada mediante el ajuste de modelos estructurados por edades a datos de captura por edades e índices de abundancia relativa obtenidos desde la pesca comercial y cruceros científicos. Se considera que mediante el uso de estos modelos es a veces posible estimar el valor de M si se cuenta con datos suficientes (Cook 2004, Lee et al. 2011). Sin embargo, dado que frecuencia con que se obtienen estimaciones poco realistas, la estimación de M en los modelos de evaluación de stock debe tomarse con cautela (Francis 2012).



Consecuentemente nuestro conocimiento del valor real de M y su variabilidad para un determinado stock, es aún pobre y la confiabilidad de las estimaciones obtenidas con modelos de evaluación de stock permanece una pregunta abierta (Vetter 1988, Francis 2012).

El uso de un valor erróneo de M producirá estimaciones sesgadas del tamaño y la productividad del stock y de este modo tiene también un efecto sobre las tasas de captura sustentables y las cuotas de captura recomendadas. En particular, un valor erróneo de M afecta principalmente las estimaciones de la mortalidad por pesca y por lo tanto de la abundancia del stock, pero no tiene un efecto sobre la selectividad. En el corto plazo esto puede ser causa de la recomendación de tasas de explotación excesivas cuando el valor de M se encuentra sobreestimado y las tasas de captura históricas son bajas, lo que puede evitarse adoptando un valor conservador para este parámetro. El rendimiento de largo plazo bajo una mortalidad igual a F_{RMS} no es muy sensible a error en la tasa instantánea de mortalidad natural provisto que esta última no se encuentre severamente subestimada (Clark 1999).

La sensibilidad del estatus de la pesquería desarrollada en el cono sur a la incertidumbre del valor de M , fue explorada para el rango 0,1 a 0,2 que contiene todos los valores que se han estimado para el bacalao de profundidad y/o considerado en evaluaciones de stock de este recurso (**Tabla 1**).

Tabla 1.

Mortalidad natural de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) estimada o empleada en estudios en diferentes regiones.

Fuente	Área	Rango M año ⁻¹	
Yáñez y Pizarro (1984)	Chile centro sur	0,10	0,20
Zuleta y Moreno (1992)	Chile sur austral	-	0,15
Shust <i>et al.</i> (1990)	South Georgia	0,16	0,18
Moreno y Rubilar (1992)	South Georgia sub-área 48.3	-	0,14
Hillary <i>et al.</i> (2006)	South Georgia sub-área 48.3	0,13	0,20
Arana <i>et al.</i> (1994)	Plataforma Patagónica	0,10	0,20
Des Clers <i>et al.</i> (1996)	Islas Malvinas	-	0,10
Brandão <i>et al.</i> (2002)	Prince Edward Islands	0,105	0,165
Martínez y Wöhler (2013)	Atlántico Sudoccidental		0,17
Oyarzún <i>et al.</i> (2003a)	Chile sur	0,10	0,14
Payne <i>et al.</i> (2005)	Islas Malvinas	-	0,165
Cubillos y Araya (2007)	Chile	0,10	0,14
Candy <i>et al.</i> (2011)	Heard y McDonald Islands	-	0,16
Ziegler <i>et al.</i> (2014)	Heard y McDonald Islands	-	0,155
Day <i>et al.</i> (2014)	Isla Macquarie	-	0,13



2.4.2 Crecimiento

El crecimiento individual es un proceso biológico fundamental que exhiben las poblaciones animales y por lo tanto una parte integral de los modelos de evaluación de stock. En los modelos estructurados por edad contemporáneos, fundados en el número de peces por edad, se utiliza un modelo matemático para el crecimiento para: i) convertir los estimados de captura ingresados al modelo desde biomasa a número de individuos; ii) convertir los resultados de número de individuos a biomasa; iii) convertir la selectividad basada en longitud a selectividad basada en edades; iv) calcular las composiciones de tamaños esperadas (Francis 2016).

Para especificar el crecimiento en modelos de dinámica de poblaciones se ha seguido dos aproximaciones diferentes: La aproximación más simple pero menos común, ignora el tamaño de los peces y requiere que el analista provea una o más matrices de pesos medios por clase de longitud y año. Este camino evita muchos de los problemas asociados con la modelación de crecimiento pero está limitado por el hecho de no usar la información de tamaños. En estos modelos los únicos parámetros de crecimiento son las matrices de pesos medios por edades y estos son siempre estimados fuera del modelo (i.e. son ingresados como constantes; Francis 2016).

La aproximación común para incluir el crecimiento en una evaluación de stock es, sin embargo, especificar dos relaciones funcionales: i) entre el tamaño del pez y su peso; ii) entre su edad y su tamaño:

$\hat{W}_L = \alpha L^\beta$ donde \hat{W}_L es el peso medio del pez de tamaño L y α y β son parámetros del modelo. La forma paramétrica más común usada para el tamaño medio por edad es la ecuación de von Bertalanffy $\hat{L}_a = L_\infty [1 - \exp(-k(a - t_0))]$, donde \hat{L}_a es el tamaño medio a la edad a y L_∞ , k y t_0 son parámetros que pueden ser estimados interna o externamente al modelo (Francis 2016).

En la estimación de la edad en bacalao de profundidad se han usado tanto escamas como otolitos (Young et al. 1992, Ashford et al. 2001, Oyarzún et al. 2003b, Céspedes et al. 2008).

Un problema que se presenta con la lectura de edades en escamas es que en los peces más viejos la periferia de la estructura no permite discernir los anillos de crecimiento. La lectura de edad en otolitos no tiene este problema de manera que la edad de los peces más viejos se encuentra sub-estimada en las composiciones obtenidas mediante la determinación de la edad en escamas respecto de aquellas obtenidas usando los otolitos (Céspedes *et al.* 2008).

Por este motivo, para el bacalao de profundidad se ha recomendado realizar estimaciones de la edad usando otolitos y no escamas (Ashford et al. 2001).

Existen un número de estimaciones de los parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy para el bacalao de profundidad (**Tabla 2**). Todas las estimaciones para el Pacífico Sur Oriental se han efectuado con información de edad leída en escamas, con la excepción del trabajo de Oyarzún et al.



(2003b) quienes realizaron una estimación usando edades determinadas en otolitos (**Tabla 2**). Dado el sesgo introducido en las edades más viejas cuando se usan escamas para determinar la edad *D. eleginoides*, la estimación de los parámetros de crecimiento empleando edades determinadas en otolitos parece ser la más apropiada para ser usada en la evaluación de stock.

Tabla 2.

Parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) estimadas para diferentes localidades. Adaptado de Collins et al. (2010) y Cubillos y Araya (2007).

Regiones	Sexo	L_{∞}	K	t_0	
Plataforma Patagónica	Hembra	141.4	0.150	-1.100	Ashford <i>et al.</i> (2001)
	Macho	120.7	0.013	-1.550	
Plataforma Patagónica	Combinados	184.7	0.065	0.386	Martínez y Wöhler (2013)
Georgia del Sur	Hembra	177.5	0.082	0.350	Aguayo (1992)
	Macho	170.3	0.086	-0.015	
Georgia del Sur	Combinados	150.0	0.073	-0.079	Belchier (2004)
Georgia del Sur	Combinados	132.0	0.080	-0.300	CCAMLR 2009
Chile sur-austral	Hembra	209.7	0.064	-1.151	Young <i>et al.</i> (1992)
	Macho	195.6	0.074	-0.721	
Isla Heard	Hembra	74.40	0.480	-0.460	Ashford <i>et al.</i> (2001)
	Macho	73.90	0.310	-1.710	
Kerguelen	Hembra	103.5	0.110	-4.700	Ashford <i>et al.</i> (2005)
	Macho	95.90	0.120	-4.600	
Macquarie	Hembra	205.3	0.045	-1.540	Kalish y Timmiss (1998)
	Macho	138.4	0.072	-1.370	
Macquarie	Hembra	158.3	0.085	-0.350	Horn (2002)
EEZ	Macho	134.3	0.118	0.080	
Macquarie Island	Combinados	185.5	0.042	-0.781	Constable <i>et al.</i> (2001)
Chile centro-sur	Combinados	177.8	0.109	0.000	Pavéz <i>et al.</i> 1983
	Combinados	218.0	0.048	-0.066	Rubilar <i>et al.</i> (1999)
	Combinados	152.2	0.085	-0.590	Oyarzún <i>et al.</i> 2003b
Chile sur-austral	Combinados	210.8	0.064	-0.432	Aguayo y Cid (1991)
	Combinados	212.6	0.066	-0.477	Young <i>et al.</i> (1992)
Georgia del Sur	Combinados	170.8	0.088	0.000	CCAMLR (1995)
	Combinados	170.9	0.087	0.160	Aguayo (1992)
	Combinados	204.0	0.056	-0.545	Zacharov y Frolkina (1976)
	Combinados	175.0	0.071	0.005	Shust <i>et al.</i> (1990)
	Combinados	207.0	0.075	-0.290	Cassia (1998)



2.4.3 Madurez sexual

La información de la biología reproductiva, en particular la fecundidad y la producción de huevos es fundamental en el estudio de la dinámica poblacional de peces (Hunter et al. 1992), siendo la base para cuantificar la capacidad reproductiva de la especie a nivel individual y poblacional (Murua et al. 2006, El Habouz et al, 2011). Algunos métodos de evaluación usan información tal como: la edad ($E_{50\%}$) o longitud media ($L_{50\%}$) de madurez sexual, la fecundidad y la frecuencia de desove para estimar la biomasa. En los modelos estructurados por edades la biomasa desovante es calculada integrando el producto entre número de individuos estimados por clase de edad, el peso medio y la proporción de individuos sexualmente maduros. Para estos efectos a menudo la ojiva de madurez es asumida como constante en el tiempo (Rijnsdorp et al. 2010). Los cambios interanuales en estas variables pueden afectar la productividad del stock y producir variabilidad en el reclutamiento (Macchi et al. 2004).

El incremento en la intensidad de pesca tiende a afectar la distribución de tamaños del stock, reduciendo la proporción de individuos de mayor tamaño, un cambio que en general es considerado nocivo. La situación opuesta, i.e. una alta frecuencia de peces de gran tamaño y sexualmente maduros (a menudo denominados “megadesovantes”), es considerada indicador de una estructura saludable del stock (Froese 2004, *Lappalainen et al.* 2016).

En bacalao de profundidad se ha observado variación temporal en el porcentaje de peces maduros por clase de edad, lo que puede ser el resultado de cambios anuales en la tasa de crecimiento, sin que haya cambios en la frecuencia de madurez por edades, o en la ojiva de madurez por edades sin que se registren necesariamente cambios en la distribución de tamaños por clase de edad (Patterson et al. 2001, Stahl y Kruse 2008).

El patrón de madurez por edad puede también cambiar espacialmente, entonces la fracción de peces maduros seleccionados por la pesca puede también variar como consecuencia de la asignación espacial del esfuerzo. Esta variabilidad espacio-temporal afecta las estimaciones de biomasa desovante y consecuentemente deben ser considerada en la evaluación de stock (Stahl y Kruse 2008).

También existe preocupación respecto de la posibilidad de cambios en la maduración sexual de los stocks que puedan estar siendo inducidos por la pesca a través de un efecto selectivo que puede constituirse en una presión evolutiva hacia un menor tamaño medio de maduración sexual (Pukk et al. 2013) con efectos sobre los rendimientos de pesca de largo plazo ya que la reversión de estos cambios puede ser un proceso lento (Law y Grey 1989).

Los patrones observados en estas variables deben sin embargo ser considerados detenidamente dado a que siempre existe una posibilidad de que puedan ser explicados por sesgo en el muestreo por razones diversas como: la asignación espacial y temporal del esfuerzo de pesca, selectividad de los métodos de pesca, estructuración espacial de diferentes componentes del stock e inmigración de individuos con diferentes patrones de historia de vida (Stahl and Kruse 2008, Pukk et al. 2013, Yates 2018).



Por lo general en las evaluaciones de stock se emplea el peso de los ejemplares sexualmente maduros como una aproximación de la biomasa desovante (en sustitución de la fecundidad o la producción de huevos). La situación más común es que la información disponible de madurez sexual se comunica en forma resumida usando la longitud media de madurez sexual ($L_{50\%}$; **Tabla 3**). $L_{50\%}$ es un indicador que describe la función de madurez sexual por clase de longitud, pero no permite reproducir esta relación funcional³. En el mejor de los casos, se cuenta con los parámetros de la función que describe la curva u ojiva de proporción de ejemplares sexualmente maduros por clase de longitud.

Tabla 3.
Longitud media de madurez sexual de bacalao de profundidad estimada para diferentes localidades. Adaptada de Collins *et al.* (2010).

Fuente	Área	L50% mm.	
		machos	hembras
CCAMLR (1987)	South Georgia	577	1104
Moreno (1998)	South Georgia	670	860
Everson y Murray (1999)	South Georgia	785	982
Agnew <i>et al.</i> (1999)	South Georgia	750	1010
Laptikhovsky <i>et al.</i> (2006)	Islas Malvinas	860	900
Payá y Brickle (2008)	Islas Malvinas		897
Prenski y Almeyda (2000)	Argentina	763	871
Moreno <i>et al.</i> (1997)	Chile	1050	1170
Young <i>et al.</i> (1999)	Chile	1287	
Oyarzún <i>et al.</i> (2003a)	Chile	780-940	1130-1170
Arana (2009)	Chile	810	890
Balbontín <i>et al.</i> (2011)	Chile		899
Duhamel (1991)	Kerguelen	650	800
Lord <i>et al.</i> (2006)	Kerguelen	630	850
Pájaro <i>et al.</i> (2009)	Argentina	823	837
Day <i>et al.</i> (2014)	Macquarie Island	1396	

De lo anterior se desprende que para construir una curva que describe la proporción de individuos sexualmente maduros por clase de edad (la información que es requerida por el modelo de evaluación), se necesita de un vector de parámetros de crecimiento (**Tabla 2**), además de la información de madurez sexual por clase de longitud.

Esta situación necesariamente introduce incerteza en la estimación de las proporciones de individuos maduros por clase de edad, en circunstancia que pueden existir diferentes estimaciones de estos parámetros de madurez y/o de crecimiento para una misma región o para regiones en donde el

³ Para describir la información reproductiva disponible para implementar un modelo de dinámica poblacional estructurado en edades, es mejor reportar la frecuencia de madurez por clase de edad. En su defecto, reportar también el valor de $L_{90\%}$ y/o los parámetros α y β de la función logística ajustada para estimar $L_{50\%}$.

proceso de maduración gonadal se puede asumir es similar (en aquellas situaciones en donde no hay estimaciones locales).

Evaluaciones de stock recientes del bacalao de profundidad explotado en Chile han hecho uso de una ojiva caracterizada por una edad media de madurez sexual de 12,4 años (Quiroz 2014, Tascheri et al. 2015; **Figura 3**).

Esta curva aparece claramente desplazada hacia un mayor edad con respecto a otras estimaciones reportadas para la misma región (Zuleta y Young 1996, Arana 2009, Balbontín et al. 2011 transformada a edades usando los parámetros de crecimiento estimados por Young et al 1992) o para regiones vecinas (Prenski y Almeyda 2000, Martínez y Wöhler 2013) e incluso en las Islas Malvinas (Laptikhovsky et al. 2006, esta última transformada a edades usando los parámetros de crecimiento estimados por Cassia 1998), todas las cuales exhiben una edad media de madurez sexual contenida en el intervalo 7,8 a 9,8 años (**Figura 9**).

Al respecto Kock *et al.* (1985) señalan que *D. eleginoides* podría alcanzar 8 a 10 años de edad antes de tener su primer desove.

En este contexto, parece más adecuado emplear la ojiva reportada por Balbontín et al. (2011), dado que las muestras fueron tomadas desde la zona comprendida entre los 55°46' S y 68° 32' W hasta los 57° 54' S y 67° 29' W (Tierra del Fuego, donde se concentran los principales caladeros de operación de la flota industrial), cubren el ciclo anual desde enero a diciembre de 2010 y un amplio rango de tamaños de esta especie (58 a 225 cm de longitud total) y su estimación es más consistente con las otras estimaciones disponibles para la misma región y las regiones vecinas (**Figura 9**).

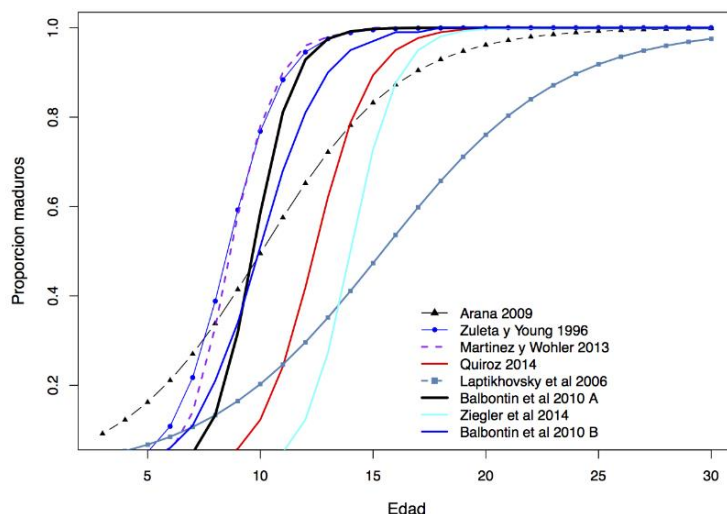


Figura 9. Diferentes ojivas de madurez sexual estimadas por clase de longitud y que están disponibles a la evaluación de stock que fueron convertidas a madurez en edades usando diferentes conjuntos de parámetros de la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy (**Tablas 2 y 3**).



2.4.4 Productividad y resiliencia

Para la mayoría de las poblaciones se presume que existe una regulación denso dependiente en alguna etapa del ciclo vital de la especie y un modo conveniente de incorporar esta dependencia en el modelo de evaluación de stock es en la relación entre la fracción desovante presente en un tiempo t y la cohorte que recluta a la población en un tiempo $t + 1$ (Brooks y Powers, 2007). Esta relación stock-reclutas describe la productividad del stock e influye su tamaño, la captura sostenible y los puntos biológicos de referencia.

La caracterización y parametrización de esta relación es sin embargo difícil e incierta, debido a que frecuentemente los datos disponibles contienen muy poca información respecto de la forma funcional y/o el valor de los parámetros de esta relación (Hilborn y Walters, 1992, Zhou 2007, Lee *et al.* 2012). En general el problema de la incertidumbre de modelo (su forma funcional) no puede ser abordado mediante técnicas cuantitativas y por esta razón, la forma más apropiada de la relación stock –reclutas es aún un punto de discusión para muchos stocks (Patterson *et al.* 2001, Zhou 2007, Williams and Shertzer 2003). Estos últimos autores recomiendan sin embargo para el manejo la relación de Beverton y Holt (BH; 1957), porque los valores de los puntos biológicos de referencia son más conservadores cuando se usa de esta relación.

Cuando es incorporada en un modelo de evaluación de stock, la relación de BH es a menudo re-parametrizada usando el parámetro *steepness* (h). Este concepto fue popularizado por Mace y Doonan (1988) quienes lo definieron como la fracción del reclutamiento virginal (R_0) cuando la biomasa desovante es un 20% de su nivel sin explotación (B_0). Esta re-parametrización permite determinar la relación de BH con un valor de h y una estimación del parámetro R_0 :

$$R_0 = \frac{B_0}{\alpha + \beta B_0}; \quad hR_0 = \frac{0,2B_0}{\alpha + \beta 0,2B_0}$$

Estas ecuaciones pueden ser usadas para relacionar α y β con h .

$$\alpha = \frac{B_0}{R_0} \frac{1-h}{4h}; \quad \beta = \frac{5h-1}{4hR_0}$$

La falta de conocimiento acerca de la forma de la relación stock-reclutas del bacalao de profundidad (Payá *et al.* 2014), motivó que en la evaluación de stock la modelación del reclutamiento fuese implementada como desviaciones simples en torno a un nivel medio de reclutamiento (Tascheri y Canales 2016) lo que equivale a especificar $h=1$. He *et al.* (2006), demostraron que poblaciones con valores bajos de h (e.g. inferiores a 0,4) tienen una probabilidad muy baja de subsistir en una situación con variabilidad en el reclutamiento. De este modo los valores posibles de h se encuentran en el rango 0,4 - 1.



En las evaluaciones de stock de bacalao de profundidad tanto el estatus (Zuleta y Hopf 2010) como las proyecciones son sensibles a diferentes valores de h (Brandão *et al.* 2002, Brandão y Butterworth 2011), aun cuando la magnitud de su efecto en el estatus histórico puede ser mínima (CCAMLR 2014).

En las evaluaciones de stock de bacalao de profundidad en Chile se ha usado un valor de $h=0,6$. En otras áreas en donde se captura este recurso se han empleado valores de h que van entre 0,35 y 0,9 considerando tanto los casos base como los análisis de sensibilidad y en la CCAMLR se ha adoptado un valor igual a 0,75 (CCAMLR 2014). En el Atlántico Sudoccidental, el valor de este parámetro ha sido estimado en 0,67 (Martínez y Wöhler 2013; **Tabla 4**).

Tabla 4.

Valores del parámetro h (steepness) adoptados o estimados en evaluaciones de stock de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) en diferentes localidades.

Fuente	Área	Rango h		h caso base
Zuleta, A y S. Hopf. (2010)	Chile sur austral	0,7	0,8	0,7
Quiroz (2009-2010), Quiroz y Wiff (2010-2013), Quiroz (2014)	Chile sur austral	-	-	0,6
Brandão <i>et al.</i> (2002)	Prince Edward Islands	0,35	0,9	0,6
Martínez y Wöhler (2013)	Atlántico Sudoccidental	-	-	0,67
Hillary <i>et al.</i> (2006)	South Georgia sub-área 48.3	0,7	0,9	0,8
Ziegler <i>et al.</i> (2014)	McDonald Islands	-	-	0,75
Wayte and Fay (2013)	Macquarie Island	0,5	0,9	0,75
Day <i>et al.</i> (2014)	Macquarie Island	-	-	0,75



3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1 **OBJETIVO 1: Implementar procedimientos de evaluación de stock**

3.1.1 Datos disponibles para la estimación de parámetros.

Pesquería Chilena de bacalao de profundidad

- **Flota artesanal** (18° 21' L.S.- 47° L.S.)
 - Composiciones de longitud 1995 - 2017.
 - Composiciones de edad 1995 – 2006 (escamas).
 - Composiciones de edad 2007 – 2017 (otolitos).
 - Pesos medios a la edad 1995 – 2017.
 - Capturas 1978 – 2017.
 - Bitácoras de pesca FIP 96-32 1968 – 1997.
 - Registros de pesca artesanal (IFOP) 1998-2017.
- **Flota industrial (palangre; 47° S – 57° L.S.)**
 - Composiciones de longitud 1996 - 2006.
 - Composiciones de edad 1991-1992, 1996 – 2006 (escamas).
 - Bitácoras de pesca industrial (IFOP) 1997 - 2006.
 - Pesos medios a la edad 1991 – 2006.
 - Capturas 1989 - 2006.
- **Flota industrial (trotline con cachaloteras; 47° S – 57° L.S.)**
 - Composiciones de longitud 2007 – 2017.
 - Composiciones de edad 2007 – 2017 (otolitos).
 - Pesos medios a la edad 2007 – 2017.
 - Bitácoras de pesca industrial (AOBAC*) 2007 - 2013.
 - Bitácoras de pesca industrial 2017.
 - Capturas 2007 - 2017.

Pesquería Argentina de bacalao de profundidad **

- **Flota arrastre** (sur de la latitud 54°S.)
 - Composiciones de longitud 2003 - 2014.
 - Capturas 1986 - 2017.
- **Flota palangre** (sur de la latitud 54°S)
 - Composiciones de longitud 2003 - 2014.
 - Capturas 1991 - 2017.
 - Registros oficiales de captura y esfuerzo 1993 - 2014.
 - Bitácoras de pesca (observadores científicos) 2003 – 2014.



- * El 13 de mayo de 2014, AOBAC A.G⁴. puso a disposición de IFOP la información biológica y pesquera del recurso bacalao de profundidad recopilada por CEPES S.A.⁵. con financiamiento de esta entidad entre los años 2007 y 2013 para su uso en las evaluaciones de stock del Instituto de Fomento Pesquero (Anexo 2 en Tascheri *et al.* 2015.).

- ** El 21 de agosto de 2014 INIDEP y el IFOP establecieron un Convenio Marco formalizando las relaciones de cooperación entre ambas instituciones que incluyen promover y fortalecer procesos de investigación, establecimiento de grupos técnicos conjuntos y mejorar la toma de decisiones, entre otras actividades.

⁴ Asociación de Operadores del Bacalao de Profundidad de Magallanes. <http://home.aobac.cl/>

⁵ Centro de Estudios Pesqueros S.A. www.cepes.cl



3.1.2 Composiciones de longitud

Las composiciones de longitud de las capturas industriales y artesanales son obtenidas mediante el muestreo rutinario realizado por el proyecto de seguimiento de la pesquería de aguas profundas (Céspedes et al. 2016, 2017) y luego expandidas al desembarque para ser usadas en el modelo de evaluaci3n de stock y en el estudio de la composici3n de edad de las capturas (**Figura 10**).

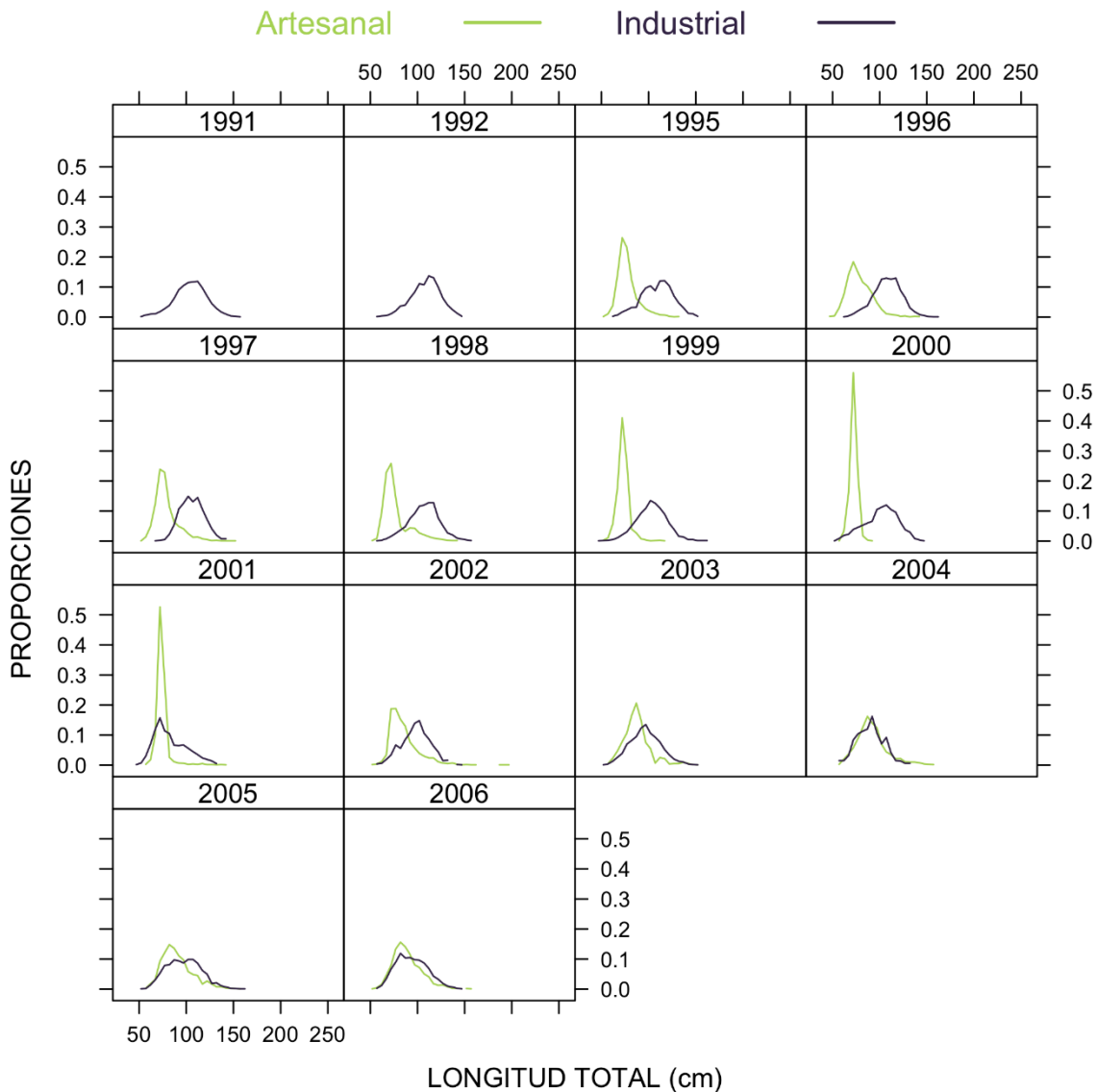


Figura 10. Composici3n de tamaño de las capturas de industriales y artesanales años 1991 a 2006 (fuente: IFOP).



Los datos de composición de longitud de las capturas industriales y artesanales de los años 1991 a 2006 fueron empleados en el modelo de evaluación de stock en sustitución de los datos de composición de edades obtenidos a través de la lectura de edades en escamas (Tascheri 2017).

Las composiciones de longitud de las capturas de las flotas arrastrera y de palangre argentinas corresponden a toda el área de la pesquería y se encuentran disponibles para los años 2003 a 2014 (**Figura 11**).

Los datos de composición de tamaño de las capturas se emplean en reemplazo de los datos de composición de edades de la pesca argentina utilizados por Tascheri *et al.* (2015), a fin de evitar el efecto de suavizamiento de la variabilidad de la información de captura a la edad introducido por el procedimiento de slicing de las cohortes aplicado por argentinas Martínez y Wöhler (2013) y para evitar conflicto con los datos de composición de edades de las capturas chilenas obtenidas usando otolitos (Polacheck, 2015).

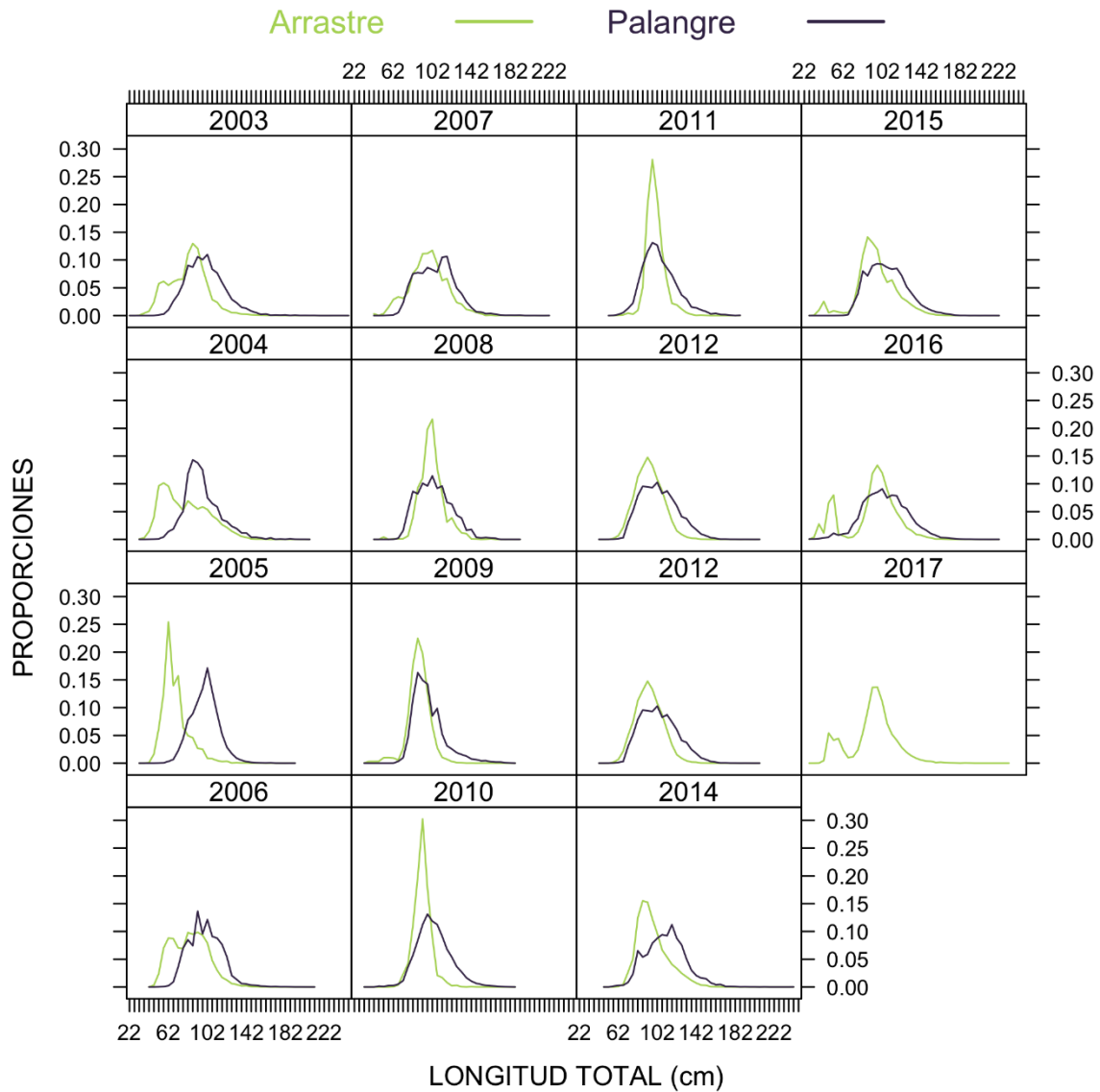


Figura 11. Composición de tamaño de las capturas de arrastre y palangre argentinas para toda el área de la pesquería (fuente: INIDEP).

3.1.3 Composiciones de edad

Los datos de composición por edades de las capturas de las pesquerías artesanal e industrial de Chile provienen de dos fuentes: entre los años 1991 y 2006 la asignación de edades estuvo basada en la lectura de escamas y entre los años 2007 a 2017 en la lectura de otolitos (**Figuras 12 y 13**).

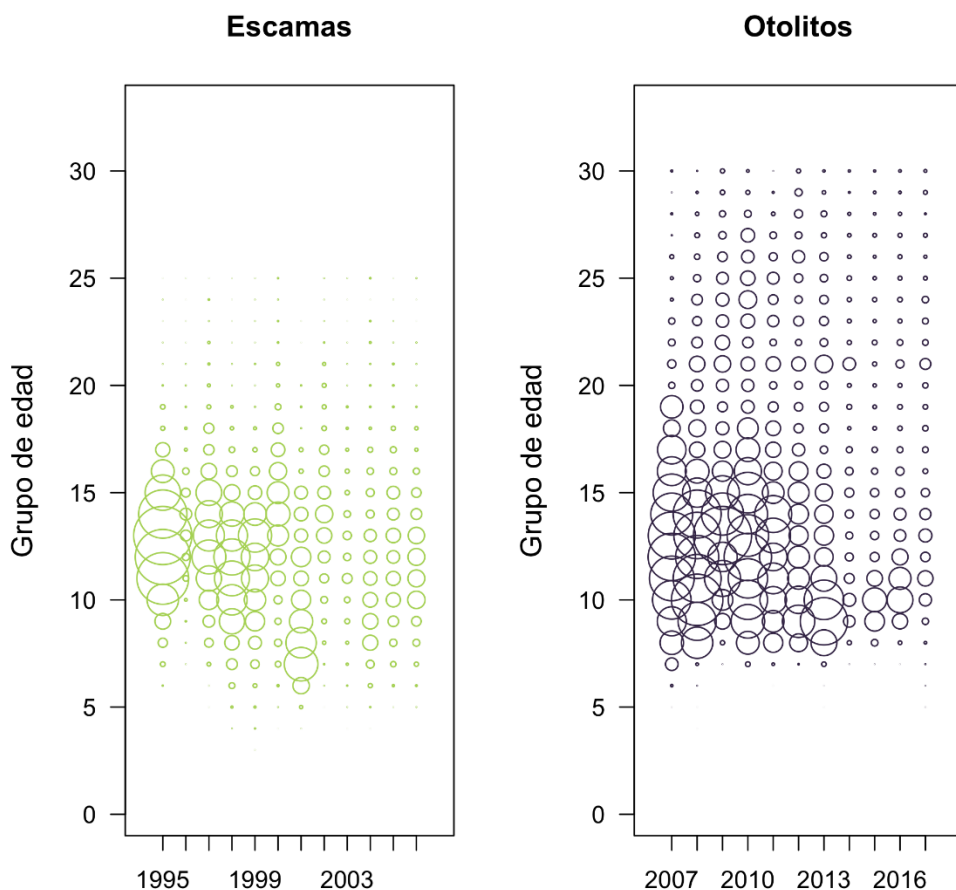


Figura 12. Serie de composición de edades de las capturas industriales de bacalao de profundidad. Izquierda: lectura de escamas, años 1989 a 2006; Derecha: lectura de otolitos, años 2007 a 2017.



En biología de peces, tanto las escamas como de otolitos han sido ampliamente usados para la determinación de las edades (Oyarzún et al. 2003b).

Sin embargo, cuando se usan escamas para determinar la edad los anillos anuales se hacen difíciles de distinguir hacia el borde de la estructura, lo que conduce a una subestimación de la edad en los peces más viejos (SC-CAMLR-XI 2001, Anexo 5, párrafo 6.124). El bacalao de profundidad deposita una zona traslúcida en el otolito cada año y probablemente los conteos de estas zonas son un método válido para determinar su edad (Horn 2002).

Por esta razón, la lectura de anillos de crecimiento en otolitos ha sido adoptada internacionalmente como estándar para la determinación de la edad en esta especie (Ashford et al. 2001, SC-CAMLR 2001). El cambio desde escamas a otolitos como estructura dura para la lectura de edades en el bacalao de profundidad capturado en Chile es consistente con este hecho.

Para evitar la sub-estimación de las cohortes más viejas en los años previos a 2007 (Polacheck 2015), la información de edades determinadas mediante la lectura de escamas no ha sido incluida en las evaluaciones de stock desarrolladas por IFOP a partir del año 2015 (Tascheri y Canales 2016).

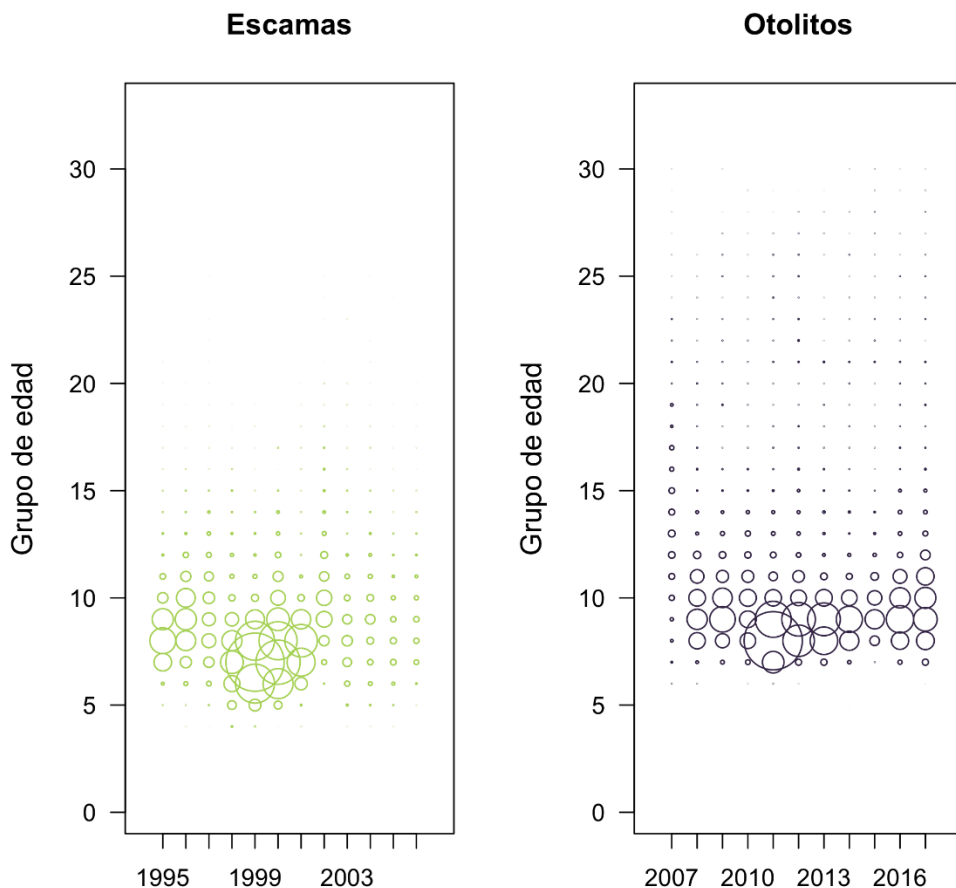


Figura 13. Serie de composición de edades de las capturas artesanales de bacalao de profundidad. Izquierda: lectura de escamas, años 1995 a 2006; Derecha: lectura de otolitos, años 2007 a 2016).

3.1.4 Pesos medios a la edad

Si bien la subestimación de la edad del bacalao de profundidad que resulta del uso de escamas respecto de la determinación de la edad usando otolitos se encuentra bien documentada (SC-CAMLR, 2001, Oyarzún et al. 2003b). El efecto que esto tiene sobre los pesos medios a la edad es sin embargo un problema menos difundido: i.e. cuando se determinan las edades usando escamas, los peces más viejos (+23) se encuentran mal clasificados como individuos más jóvenes y consecuentemente el peso medio de estos últimos exhibe un sesgo positivo (**Figura 14**).

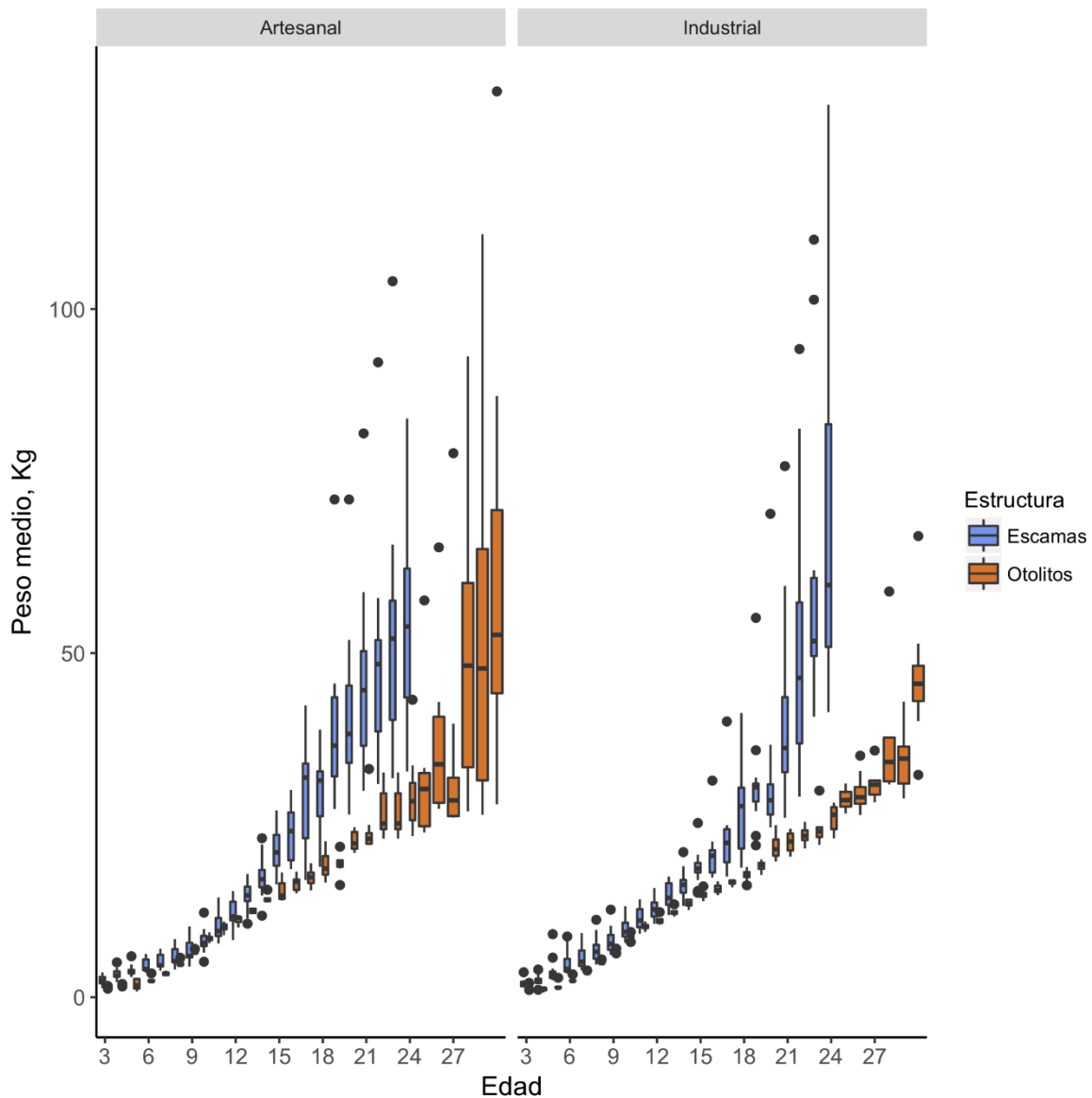


Figura 14. Pesos promedio por edades de bacalao de profundidad correspondientes a los datos de composici3n de las capturas artesanales e industriales estimados usando tanto escamas como otolitos. Escamas: a1os 1995 a 2006; Otolitos: a1os 2007 a 2017. Fuente: IFOP.



3.1.5 Bitácoras de pesca y registros oficiales de captura

Bitácoras de pesca industrial recopiladas por IFOP

La base de datos de bitácoras de pesca industrial mantenida por el IFOP contiene información de la operación de pesca a la escala del lance y se extiende entre los años 1998 y 2017. Estos registros de operaciones de pesca corresponden a una combinación de registros tomados directamente por IFOP (mediante el embarque de observadores científicos; Céspedes et al. 2016) y de bitácoras recopiladas indirectamente a través del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA). Esta base de datos es mantenida por el instituto en un banco centralizado de datos.

La base de datos de bitácoras de la pesca industrial de los años 1989 a 2017 se obtuvo uniendo la base descrita con bitácoras de la pesca con palangre recopiladas por el proyecto de seguimiento de la pesquería demersal entre los años 1989 y 1997⁶ (Céspedes et al. 2017).

Registros de pesca artesanal recopiladas por IFOP

Los registros de captura y esfuerzo de bacalao de profundidad en el área de la pesquería artesanal (norte de la latitud 47°S), se obtienen principalmente desde dos fuentes: el proyecto FIP 96-32 (Young *et al.*, 1997) y el proyecto de seguimiento de la pesquería demersal de aguas profundas (Céspedes et al. 2017).

La primera se compone de registros de viajes de pesca realizados entre los años 1986 a 1997 que fueron compilados en los puertos de Caldera, San Antonio, Constitución, Lebu y Valdivia.

La segunda se compone de registros de viajes de pesca realizados entre los años 1998 y 2017 recopilados en los puertos de San Antonio, Lebu, Valdivia, Quellón y en las caletas Anahuac, Chinquihue y Carelmapu.

Actualmente estos datos se han consolidado en una única base, la que es regularmente actualizada por el proyecto de monitoreo.

⁶ Los datos de bitácoras de pesca del año 1989 a 1997 no se encuentran en el sistema centralizado.



Bitácoras de pesca AOBAC A.G.

La base de datos AOBAC contiene información de la operación de pesca a la escala del lance y se extiende entre los años 2006 y 2013. Estos registros corresponden a una combinación de registros de operaciones de pesca tomados por observadores científicos de CEPES S.A. y otros llenados por los capitanes de los barcos de pesca.

Esta base de datos distingue las operaciones con palangre español de aquellas que emplearon el sistema trotline con cachalotera e incluye además varios campos que registran variables relevantes a la interacción de la pesca con mamíferos marinos, en particular orcas y cachalotes.

Registros oficiales de captura y esfuerzo de la pesquería argentina de palangre

En el marco del convenio de cooperación técnica entre IFOP e INIDEP, en las evaluaciones de stock más recientes se ha podido contar con datos de captura y esfuerzo de la pesca de bacalao de profundidad desarrollada con palangre en la ZZE de Argentina.

El uso de la CPUE estandarizada de los buques palangreros como índices de abundancia relativa de bacalao de profundidad en las evaluaciones de stock argentinas, se ha fundamentado en que la pesca con palangre, puede ser considerada, desde sus inicios, como efectivamente dirigida hacia la especie objetivo y en que el área de operación de esa flota involucraba prácticamente la totalidad del área de distribución del recurso en aguas argentinas (Martínez *et al.*, 2011).

Los registros oficiales de captura y esfuerzo de la pesca argentina corresponden a la captura por operación en kilogramos obtenida desde la estadística pesquera oficial que es mantenida por la SAGPyA y administrada en el Centro de Cómputos del INIDEP (Martínez *et al.* 2011).

Estos datos presentan la ventaja de cubrir la pesquería de bacalao de profundidad argentina desde desde el año 1993 hasta el año 2017, pero tienen la desventaja de estar agregados por cuadro estadístico y no incluyen las variables que permiten aproximar mejor el esfuerzo de pesca ejercido con palangre, tales como el número de anzuelos y el tiempo de reposo del aparejo de pesca.



A partir del año 2005, se comenzó a observar una reducción en el número de buques palangreros que operan sobre el recurso, provocando la consiguiente disminución de la cantidad de información biológica y pesquera disponible para la estimación de índice de abundancia relativa. En el año 2013 operaron 3 barcos y en 2017 sólo operó un barco, que realizó una sola marea.

Un evento relevante en esta pesquería fue el uso desde el año 2008 de la “cachalotera”, con el fin de mitigar la depredación de la pesca por los mamíferos marinos. La pesca con este dispositivo registra mayores rendimientos de pesca respecto de la pesca con palangre español y por lo tanto fue necesario considerar estos cambios en el proceso de estandarización del esfuerzo a fin de evitar confundir este efecto con un incremento en la biomasa del recurso.

Bitácoras de pesca recopiladas entre los años 2003 y 2014 en la pesquería de palangre por los observadores científicos de INIDEP

A partir del año 2003, Argentina implementó diversas medidas de administración pesquera las que incluyeron entre otras, la obligatoriedad de llevar a bordo un observador científico del INIDEP en todas las embarcaciones con autorización de pesca de bacalao de profundidad. Esta actividad de observación científica aportó una gran cantidad de información biológica - pesquera confiable y posibilitó avanzar con los estudios de esta pesquería (Martínez *et al.* 2011).

La base de bitácoras de pesca recopiladas por observadores científicos de INIDEP, cubre los años 2003 a 2014 e incluye variables que permiten medir mejor el esfuerzo de pesca con palangre, tales como el número de anzuelos y el tiempo de reposo (Martínez *et al.*, 2011).

La distinción de las capturas por aparejo de pesca, es decir entre las obtenidas con el uso del palangre español y aquellas obtenidas con cachalotera, es posible tanto en la base Registros oficiales de captura como en la base de datos recopilados por los observadores científicos argentinos.

La pesca argentina de palangre fue, prácticamente, descontinuada en el año 2014.

Índices estandarizados de abundancia relativa

Los datos de captura y esfuerzo que están disponibles a este proyecto se han utilizado en la estimación de cinco índices de abundancia relativa, los que corresponden con las fuentes de datos descritas en la sección anterior (Tascheri 2017).

Las series estimadas que se han empleado en esta evaluación de stock se presentan separadamente por pesquería en los paneles A, B y C de la **Figura 15** y en el panel D) de la misma figura, divididas por sus respectivas medias para poder representarlas en una escala común.

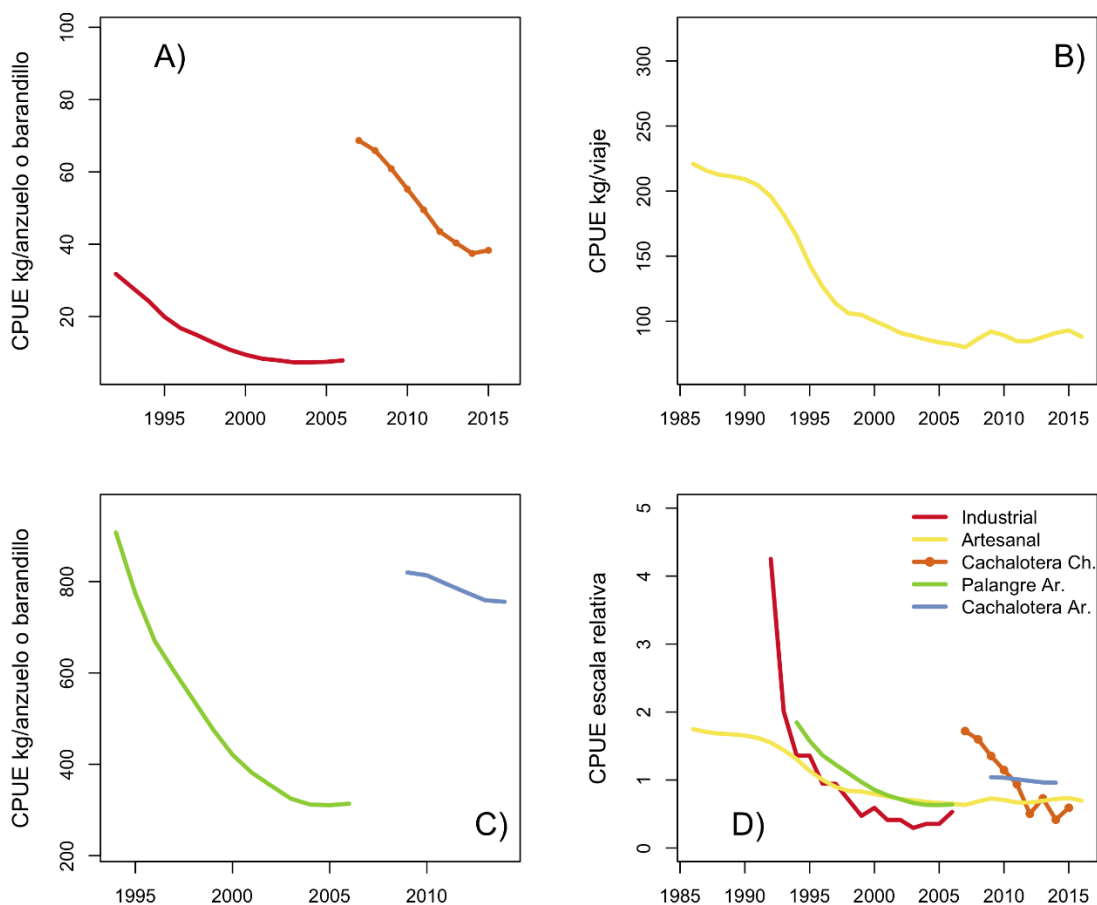


Figura 15. Índices de abundancia relativa. A): Palangre industrial Chile (1992-2006) y cachalotera (2007-2016). B): Palangre artesanal Chile (1986-2016); C) Palangre Argentino (1994 - 2006) y Cachalotera (2009 - 2014); D) Comparación en la misma escala.



Entre las fuentes de incertidumbre más importantes para la interpretación de los índices de CPUE de la pesquería Sudamericana de bacalao de profundidad como índices de abundancia relativa, se cuentan: la segregación espacial del recurso por tamaño/edad v/s la distribución espacial del esfuerzo de pesca, la interacción de la pesca con mamíferos marinos y los cambios de aparejo de palangre a cachalotera.

Con respecto a los cambios en el aparejo de pesca, durante la temporada 2017 se observó una nueva modificación al aparejo que debe ser considerada al momento de estimar e interpretar indicadores de CPUE como índices de abundancia relativa.

El análisis de estandarización del esfuerzo, realizado para la presente evaluación de stock, se informa en el **Anexo 2**.

3.1.6 Capturas

Los métodos de evaluación de stock requieren conocer todas las capturas removidas desde la población.

En aguas de la Comisión para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (CCRVMA), la pesca ilegal, no reportada y no regulada (IUU) alcanzó niveles importantes durante la etapa de desarrollo de la pesquería de bacalao de profundidad. Sin embargo, en años recientes el sistema de documentación de las capturas (CDS), adoptado por los países miembros de la convención a partir del año 2000, ha contribuido a evitar distorsiones en la cuantificación de las capturas. Este sistema está diseñado para poder demostrar que el bacalao fue capturado cumpliendo las normas de conservación, lo que se consigue mediante el seguimiento de los desembarques y de las transacciones (Collins *et al.* 2010).

Como suscriptor de la CCRVMA, Chile debe cumplir con el CDS tanto para los desembarques industriales como artesanales.

Hasta el año 2012, la flota artesanal no estaba sujeta a la obligación de usar un sistema de posicionamiento satelital, y entonces para emitir el CDS bastaba con la certificación de los desembarques por parte del SERNAPESCA.

Recientemente Estados Unidos, el principal mercado para el bacalao de profundidad, decidió no aceptar más importaciones de producto capturado por barcos sin conexión al sistema centralizado de la CCRVMA. Esto motivó modificaciones a la LGPA para incluir disposiciones diseñadas para normalizar el registro de los desembarques artesanales, la notable fue el requerimiento de instalar un dispositivo de posicionamiento satelital a las embarcaciones con más de 15 m de eslora.



Revisión de las capturas realizada por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP).

En el año 2004, el IFOP efectuó una revisión de los registros oficiales de desembarque del SERNAPESCA correspondientes a los años 1980 a 2001. La que estuvo fundada tanto en los datos de captura recopilados en los proyectos de monitoreo llevados por el IFOP como en antecedentes de criterio experto.

Los principales criterios de esta revisión dicen relación con:

1. Homologar los desembarques a las categorías de las flotas artesanal e industrial, de acuerdo con las características físicas y operacionales de las embarcaciones (y no con la clasificación artesanal o industrial del armador), a fin de que estas fueran representativas de sus respectivas zonas. De acuerdo con estas características, hasta la décima Región todos los desembarques del período son de origen artesanal con excepción de las localidades de Puerto Montt y Castro, las que fueron consideradas como zonas comunes de desembarque industrial y artesanal. En esta última situación, los autores efectuaron una revisión año a año de los datos de captura por barco y puerto de operación recopilados por el instituto, a fin de asignar el desembarque a la categoría de flota correspondiente. Sin perjuicio de lo anterior, todos los desembarques previos al año 1985 fueron asignados a la clasificación artesanal.
2. Para los años 1980 a 1984, la clasificación “mero o bacalao” (asociada por el servicio a la especie *Poliprion yañezi*) fue homologada a la clasificación “mero o bacalao de profundidad” usada en el anuario del año 1985 (asociada a la especie *Dissostichus eleginoides*). De este modo, todos los desembarques señalados como “mero o bacalao” fueron asumidos como desembarques de bacalao de profundidad.
3. Se definió el año 1989 como el año de inicio de la pesquería industrial.
4. Algunos de los registros artesanales de desembarque de las Regiones XI y XII fueron trasladadas al desembarque industrial.
5. Se consideraron como capturas en aguas nacionales los desembarques de los barcos fábrica declarados en los caladeros “Isla Georgia del Sur” y “Milla Náutica 201” (Cuadro 6, ANEXO 3 en Tascheri et al. 2015).



En este último punto, es importante indicar que aun cuando la ley 19.521 fue promulgada en 1997, el sistema de posicionamiento geográfico automático con apoyo satelital no entró en operación sino hasta el año 2000. De este modo, la posibilidad de sub-reportar las capturas realizadas en aguas nacionales, declarándolas como capturas realizadas en aguas internacionales, sólo fue posible entre los años 1991⁷ y 1999 y de este modo los desembarques de bacalao de profundidad no incluirían distorsiones por esta causa a partir del año 2000.

Entre los años 2002 y 2010, el IFOP también insertó revisiones a los desembarques oficiales en el contexto de los proyectos de seguimiento y de evaluación de stock, pero a diferencia de la revisión de los años 1989 a 2001, estas ediciones no han sido documentadas. Sin perjuicio de lo anterior y por razones de consistencia con las evaluaciones previas, estas últimas ediciones también se han incluido en las evaluaciones de stock de los últimos tres años (**Tabla 5**).

Tabla 5.

Desembarques industriales oficiales de acuerdo con los Anuarios Estadísticos de Pesca y Acuicultura (www.sernapesca.cl) vs los datos de capturas anuales propuestos por IFOP a partir de revisiones de los datos oficiales de desembarque. Años 1978 a 2017.

Año	SERNAPESCA	IFOP	Año	SERNAPESCA	IFOP
1978	0.2	-	1998	4979	4957
1979	19.2	-	1999	4520	3688
1980	67	-	2000	4184	3646
1981	29	-	2001	2620	2062
1982	277	-	2002	2186	2109
1983	216	-	2003	1013	1109
1984	313	-	2004	1651	2079
1985	396	-	2005	2006	1991
1986	877	-	2006	2455	2004
1987	953	-	2007	2358	1974
1988	504	-	2008	2883	2154
1989	2002	1363	2009	3018	2345
1990	3771	2406	2010	3293	2988
1991	6471	5191	2011	2298	2298
1992	10384	19420	2012	2383	2382
1993	5927	13002	2013	2128	2199
1994	5517	10747	2014	1036	1037
1995	5738	7924	2015	1117	1117
1996	2006	1290	2016	1301	1302
1997	4637	4716	2017	1302	1302

⁷ Año en que la pesquería de bacalao en el mar exterior al sur del paralelo 47° L.S. se declara en Régimen de Pesquería en Desarrollo Incipiente.

**Tabla 6.**

Desembarques artesanales oficiales de acuerdo con los Anuarios Estadísticos de Pesca y Acuicultura (www.sernapesca.cl) vs los datos de capturas anuales propuestos por IFOP a partir de revisiones de los datos oficiales de desembarque. Años 1978 a 2017.

Año	SERNAPESCA	IFOP	Año	SERNAPESCA	IFOP
1978	38.3	38.3	1998	4193	4375
1979	101.2	101.2	1999	5808	5787
1980	347	414	2000	5793	5223
1981	291	334	2001	3944	3592
1982	330	348	2002	4565	4565
1983	1248	1391	2003	4742	4742
1984	2167	2470	2004	3419	3419
1985	4636	4560	2005	3278	3278
1986	6108	3925	2006	2091	2091
1987	3384	3492	2007	2090	2090
1988	3796	3530	2008	1558	1558
1989	4887	4744	2009	1681	1681
1990	5616	6155	2010	1467	1467
1991	3931	4236	2011	2189	2189
1992	3664	4700	2012	2064	2069
1993	4122	4675	2013	1558	1575
1994	5387	5630	2014	1280	1167
1995	4582	3969	2015	1609	1391
1996	4987	4442	2016	1721	1838
1997	3422	3538	2017	-	2125

En las evaluaciones de los años 2015 y 2016, se han incluido las capturas de las flotas artesanal e industrial chilenas y las capturas totales de palangre y arrastre registradas en Argentina. (**Figura 5**).



3.2 Descripción general del modelo

Las evaluaciones de los tres últimos años han sido implementadas usando el “Modelo de Evaluación para Alaska” (AMAK; <https://github.com/NMFS-toolbox/AMAK>), desarrollado en AD Model Builder (Fournier *et al.* 2012) por el Dr. James Ianelli en el Alaska Fisheries Science Center del National Marine Fisheries Service de Estados Unidos.

AMAK es un modelo estructurado por edades que proyecta la población hacia adelante a partir de una condición inicial y resuelve los parámetros utilizando máxima verosimilitud.

La plataforma permite ajustar los parámetros de un máximo de siete componentes de una función de máxima verosimilitud penalizada, incluyendo los parámetros correspondientes a: los índices de abundancia, selectividad, reclutamiento, capturas, proporciones por edad, mortalidad por pesca, distribuciones a priori para la mortalidad natural y la capturabilidad de los índices de abundancia.

Las selectividades se pueden modelar usando una de cuatro formas funcionales y una penalización para la curvatura de esta función, lo que permite que los parámetros que definen la selectividad varíen tanto a través del tiempo como de las edades. La composición de edades de la captura es modelada usando una distribución multinomial (i.e. requiere de una medida del tamaño efectivo de muestra para cada año).

La distribución posterior de los parámetros puede ser aproximada usando el método de Monte Carlo de Cadenas de Markov (MCMC).

3.2.1 Estructura del modelo

El AMAK modela la captura a la edad con la ecuación de Baranov (1918). La dinámica de la población sigue el número de individuos por edades a través de la historia de las capturas con la mortalidad natural y por pesca actuando sobre los 28 grupos de edad que son modelados (3 a 30+). En cada año, los reclutamientos de edad 3 son estimados como desviaciones desde el valor medio esperado de una curva de stock-reclutas de Beverton y Holt (1957).

En el **Anexo 1** se entrega una descripción de las variables utilizadas y las ecuaciones básicas que describen la dinámica del bacalao de profundidad explotado en las ZEE de Chile y Argentina, junto con las ecuaciones de verosimilitud.



3.2.2 Diagnóstico del modelo de evaluación

Los modelos de evaluación de stock estructurados por edades pueden exhibir gran complejidad y diversidad de tamaño en términos del número de parámetros que requieren ser estimados. Esto crea la necesidad de determinar la mejor forma de resumir sus resultados a fin de que la calidad del ajuste pueda ser investigada. Esta necesidad ha sido la motivación de un número de talleres técnicos orientados a este aspecto de la evaluación de stock (Punt y Kinzey 2009, Harley y Maunder 2003).

Estos talleres concluyen la necesidad de efectuar regularmente un análisis de las cantidades estimadas versus las observadas y gráficos de residuales, distribuciones marginales de los ajustes de los datos de composición y estudiar periódicamente los análisis de sensibilidad e incertidumbre de los modelos e hipótesis alternativas relevantes que modifican la configuración del modelo base.

Bondad de ajuste

Para juzgar si los índices han sido ajustados satisfactoriamente, además del examen gráfico del ajuste se emplean dos aproximaciones.

La desviación estándar de los residuales normalizados (*DERN*; Breen *et al.* 2003). Para estos efectos los residuales normalizados se calculan como:

$$r_s = [\log(O_{iy}/E_{iy})]/\sigma_{iy}$$

La raíz del cuadrado medio del error:

$$RCME = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (\log(O_y) - \log(E_y))^2}$$

Donde, n es el número de observaciones en la serie e y es un índice de los años.

En el caso de los datos de composición de edades donde se asume una distribución multinomial, los residuales normalizados del grupo de edad a y año y se calculan del modo siguiente:

$$r_{y,a} = \frac{p_{y,a} - \hat{p}_{y,a}}{\sqrt{\hat{p}_{y,a}(1 - \hat{p}_{y,a})/n_y}}$$



Donde, p y \hat{p} son las respectivas proporciones observadas y estimadas y n el tamaño de muestra para la distribución multinomial que fue ingresado al modelo.

3.2.3 Incertidumbre del modelo.

El estudio de la incertidumbre de modelo destaca aspectos no resueltos y las principales interrogantes, juntamente con aspectos de especial complicación para la evaluación, incluidas cuestiones relacionadas al mejor modelo, entre otras (Punt y Kinzey 2009). De acuerdo con Harley y Maunder (2003) un análisis de sensibilidad exhaustivo puede considerar variar los supuestos de parámetros tales como: la mortalidad natural, índices de abundancia alternativos, factores de ponderación de los datos, exclusión de los datos de composición por edades, la variación sistemática de la ponderación de las diferentes piezas de información, entre otros.

De acuerdo con lo anterior, en la evaluación de stock del bacalao regularmente se exploran corridas *Escenarios* al modelo base para cada *Caso* considerado en la evaluación (Tascheri 2017).

3.2.4 Ponderación de los datos de composición de las capturas tomando en consideración las correlaciones

En los casos analizados en la evaluación de stock de bacalao de profundidad, las composiciones de edad de las capturas industriales y artesanales son ponderadas inicialmente con un tamaño de muestra de 60 en todos los años para los que se cuenta con este tipo de información (Años 2007 a 2017; **Tablas 7 y 8**).

Las composiciones de longitud en cambio (disponibles para los años 1991, 1992 y 1995 a 2006 en el caso industrial, 1995 a 2006 en el caso artesanal, entre los años 2003 y 2016 en el caso de la pesquería de palangre Argentina y entre los años 2003 y 2017 para la pesca de arrastre de Argentina) fueron ponderadas con un tamaño de muestra igual a 20 en todos los años en los que esta información se encuentra disponible (**Tablas 7 y 8**).

Para calcular los ponderadores tomando en cuenta las correlaciones en los datos de composición de edades y longitud, se emplea el método de ponderación de 2^{da} etapa indicado como TA1.8 en la Tabla A1 en Francis (2011). De este modo, el error estandarizado es:

$$\bar{O}_{jy} - \bar{E}_{jy}$$

Donde:

$$\bar{O}_{jy} = \sum_b (x_b O_{jby})$$



$$\bar{E}_{jy} = \sum_b (x_b E_{jby})$$

La varianza de la edad (o longitud) esperada es:

$$v_{jy} = \sum_b (x_b^2 E_{jby}) - \bar{E}_{jy}^2$$

Y los errores son estandarizados por X_{jy}

Donde:

$$X_{jy} = (v_{jy}/\tilde{N}_{jy})^{0,5}$$

El peso a utilizar es entonces (Tabla A1 en Francis 2011):

$$w_j = 1/\text{Var}_y \left[(\bar{O}_{jy} - \bar{E}_{jy}) / (v_{jy}/\tilde{N}_{jy})^{0,5} \right]$$

Donde: \bar{O}_{jy} y \bar{E}_{jy} son las edades (o longitudes) medias observadas y esperadas, respectivamente. x_b es la edad (o longitud) asociada con la clase de edad (o longitud) b .

En esta situación el tamaño de muestra inicial es el mismo para todos los años y de este modo $\tilde{N}_{jy} = \tilde{N}_j$.



3.3 **OBJETIVO 2: Establecer el estatus actualizado del recurso**

3.3.1 Evaluación del estatus basado en la biomasa desovante

Los cambios en el potencial reproductivo de la población de bacalao se medirán con el índice de reducción del stock desovante:

$$\frac{B_i}{B_0}$$

Donde B_i es la biomasa desovante en el año i y B_0 es la biomasa desovante virginal estimada a partir del reclutamiento virginal R_0 bajo una condición sin pesca y sin variabilidad en el reclutamiento. Esta biomasa es interpretada como una medida del potencial reproductivo máximo respecto de la cual se establece la condición en el año i .

Valores cercanos o superiores a 0,4 se consideran adecuados por encontrarse en la región de plena explotación (próximo a $0,45 * B_0$; Payá *et al.*, 2014). Valores cercanos o inferiores a 0,2 se consideran en o próximos a B_{LIM} (valor de biomasa bajo del cual el recurso se presume en proceso de sobrepesca por reclutamiento y en condición de agotamiento o colapso).



3.3.2 Marco biológico de referencia

La LGPA establece que el estatus actualizado de un recurso pesquero (i.e. su *estado de situación*) desde el punto de vista de la conservación, se debe determinar de acuerdo con el marco biológico de referencia (MBR) descrito en la definición 59 del Título I, Artículo 2.

La especificación de este MBR para un recurso en particular requiere estimar los Puntos Biológicos de Referencia (PBR) asociados al Rendimiento Máximo Sostenible (RMS) y adoptar un nivel de biomasa tal que este corresponda a un Punto Biológico Límite (Def. 59, Título I Artículo 2).

El marco biológico de referencia (*MBR*) representa los cambios de estado del stock con relación al nivel de explotación a través del tiempo y consiste en un plano cartesiano donde en el eje x se representa la razón entre la biomasa desovante en el año t respecto de la biomasa desovante que produce el RMS (B_t/B_{RMS}) y en el eje y se representa la razón entre la mortalidad por pesca en el año t y la mortalidad por pesca que produce el RMS (F_t/F_{RMS}).

Los estados de situación posibles para un recurso son parte integral del *MBR* y se encuentran definidos por ley en el modo que a continuación se indica:

Pesquería sub-explotada: aquella en que el punto biológico actual es mayor en caso de considerar el criterio de la biomasa, o menor en el caso de considerar los criterios de la tasa de explotación o de la mortalidad por pesca, al valor esperado del *RMS* y respecto de la cual puede obtenerse potencialmente un mayor rendimiento.

Pesquería en plena explotación: aquella cuyo punto biológico está en o cerca de su *RMS*.

Pesquería sobreexplotada: aquella en que el punto biológico actual es menor en caso de considerar el criterio de la biomasa o mayor en el caso de considerar los criterios de la tasa de explotación o de la mortalidad por pesca, al valor esperado del *RMS*, la que no es sustentable en el largo plazo, sin potencial para un mayor rendimiento y con riesgo de agotarse o colapsar.

Pesquería agotada o colapsada: aquella en que la biomasa del stock es inferior a la biomasa correspondiente al punto biológico límite que se haya definido para la pesquería, no tiene capacidad de ser sustentable y cuyas capturas están muy por debajo de su nivel histórico, independientemente del esfuerzo de pesca que se ejerza.



El CCT-RDAP en su primera sesión del año 2015, adoptó formalmente la B_{RMS} como PBR objetivo y B_{LIM} como $0,5 B_{RMS}$ (Acta CCT-RDAP, enero 2015).

En esa oportunidad el CCT-RDAP adoptó también para el bacalao de profundidad la clasificación **1b** asignada a esta pesquería de acuerdo con los resultados del “Proyecto 2.16: Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales.” (Payá *et al.* 2014).

En el citado proyecto se recomendó seguir un sistema de niveles dependiendo de la calidad y cantidad de los datos disponibles para cada stock en particular. De acuerdo con esta clasificación, el **Nivel 1** corresponde a: Stocks para los cuales existe un modelo de evaluación estructurado por edades o tamaños que provee estimaciones utilizables de la biomasa actual.

En el Nivel 1, se reconocen subniveles, entre los cuales el subnivel **1b** corresponde a una situación en donde se escogen valores sustitutos para los PBRs del RMS. La selección de estos sustitutos toma en consideración la incertidumbre en el modelo de evaluación de stock y el grado (o falta) de resiliencia de la especie.

La clasificación en el Nivel 1b de la pesquería de bacalao de profundidad determina el método de cálculo recomendado para determinar los valores sustitutos de F_{RMS} y B_{RMS} .

De acuerdo con lo anterior, la modalidad de cálculo de los PBRs para esta pesquería se estableció de la forma siguiente (Acta CCT-RDAP, enero 2015):

- Sustituto de F_{RMS} : $\tilde{F}_{RMS} = F_{45\%SPR}$
- Sustituto de B_{RMS} : $\tilde{B}_{RMS} = \bar{R}_g SPR_{0,45}$
- B_{LIM} se define: $\tilde{B}_{LIM} = 0,5\tilde{B}_{RMS}$

Consecuentemente. $\widetilde{RMS} = YPR_{F_{RMS}} \bar{R}_g$

Donde \bar{R}_g es la media geométrica del reclutamiento; SPR_0 la biomasa desovante por recluta virginal; YPR es el rendimiento por recluta.

Una vez estimados los PBRs se puede construir el MBR considerando lo establecido en la LGPA. En el marco del proyecto Revisión de los Puntos Biológicos de Referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las Pesquerías Nacionales (Payá et al. 2014) se propuso el siguiente diagrama, en donde los límites de la zona de plena explotación han sido definidos como $0,25PBR_{RMS}$ y $1,75PBR_{RMS}$ (Figura 16).

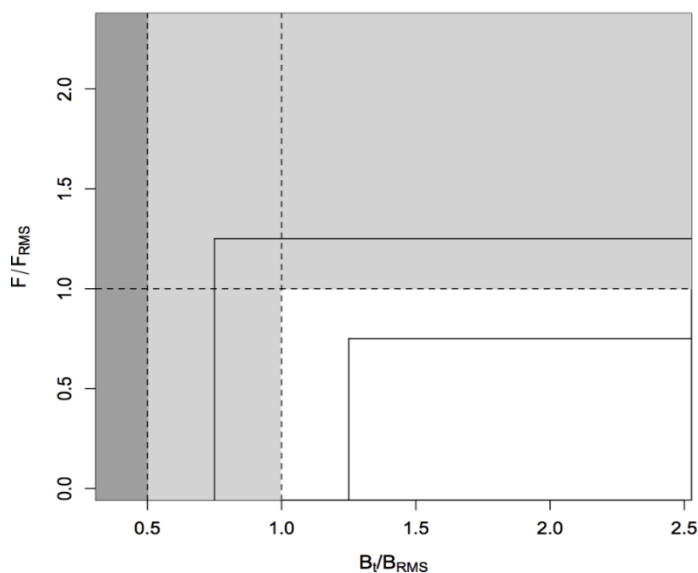


Figura 16. Marco biológico de referencia propuesto en el año 2014 (Payá et al. 2014).



3.4 OBJETIVO 3: Análisis de Captura Biológicamente Aceptable.

Las proyecciones de la población fueron realizadas en un horizonte de 50 años, que es un período de tiempo apropiado para juzgar el desempeño de las diferentes estrategias al corresponder este con un período generacional (Horn 2002).

En las proyecciones se empleó la selectividad y el número de individuos por grupo de edad estimados para el año 2018, asumiendo como capturas las cuotas de pesca adoptadas para este año en Chile (Dto. Exento 671/2017 SUBPESCA) y Argentina para siguiente al año de ejecución de la evaluación (Resoluciones N° 8 y 15/2017 Consejo Federal Pesquero). En el caso de Argentina, la Captura Máxima Permisible no es distribuida por flota (i.e. palangre y arrastre) por lo que esta fue distribuida de acuerdo a las proporciones de la captura total de bacalao de profundidad desembarcada en Argentina por cada una de estas flotas en el año 2017.

El reclutamiento proyectado empleó una relación stock-reclutas Beverton y Holt usando el mismo valor de steepness utilizado en la evaluación de stock, la biomasa desovante estimada en cada año de la proyección y desvíos simulados.

La estrategia de explotación evaluada correspondió a la mortalidad por pesca del rendimiento máximo sostenible (F_{RMS}) calculada según con lo adoptado por el CCT-RDAP para este recurso (Acta CCT-RDAP, enero 2015) y a proporciones de la misma mortalidad.

de conformidad con el marco legal vigente, en la determinación del estatus y las posibilidades de explotación del recurso, se tomó en consideración los descartes según fueron informados para los años 2015 y 2016 por el Programa de Investigación del Descarte y Captura de Pesca Incidental (San Martín et al. 2016). A la fecha de emisión de este informe la estimación del descarte correspondiente al año 2017 no se encontraba disponible.

3.5 OBJETIVO 4: Programa de Mejoramiento Continuo.

El trabajo de mejoramiento continuo del proyecto de estatus y posibilidades de explotación de bacalao de profundidad es guiado por las observaciones y recomendaciones de la revisión de pares realizada al proyecto en el año 2014 (Polacheck 2015).



4. RESULTADOS

4.1 OBJETIVO 1: Implementar procedimientos de evaluación de stock

4.1.1 Ponderación de los datos y penalizaciones.

En un modo que es consistente con las evaluaciones previas de este recurso los tamaños de muestra, de primera etapa, para las verosimilitudes de las composiciones de edad y longitud fueron definidas en 60 en todos los años donde se dispone de este tipo de información (**Tablas 7 y 8**).

En el Caso 1, la correspondencia entre las edades (o longitudes) medias observadas y los valores estimados con el modelo fue en general aceptable, con los valores esperados incluidos en el intervalo de confianza de 95% de los valores observados en la mayoría de los años (**Figura 17**).

Excepciones notables fueron, sin embargo, el año 2009 en las composiciones de edad de la pesca chilena con cachalotera (**Figura 17A**), el año 2007 en las composiciones de edad de la pesca artesanal chilena (**Figura 17B**), el año 2001 en las composiciones de longitud de la pesca chilena de palangre (**Figura 17C**) y el año 2005 en las composiciones de longitud de la pesca de arrastre argentina (**Figura 17F**), lo que significa que, para estos años, la variabilidad fue mayor a lo esperado de un muestreo aleatorio simple con un tamaño de muestra 60 en caso de las edades o una muestra de tamaño 20 en el caso de las longitudes.

En el Caso 2, la correspondencia entre las edades (o longitudes) medias observadas y estimadas en el caso de las composiciones de edad de la pesca industrial no fue particularmente buena en los años 2009 y 2014, tampoco lo fue en el año 2007 en el caso de la composición de edad de la captura artesanal, ni en los años 2001, 2004 y 2006 en el caso de la composición de longitud industrial o en el año 2006 en el caso de la composición de longitud artesanal (**Figura 18**).

Los tamaños de muestra de segunda etapa, estimados para las composiciones de edad/longitud incluidas en los Casos 1 y 2, se presentan en las **Tablas 7 y 8**.

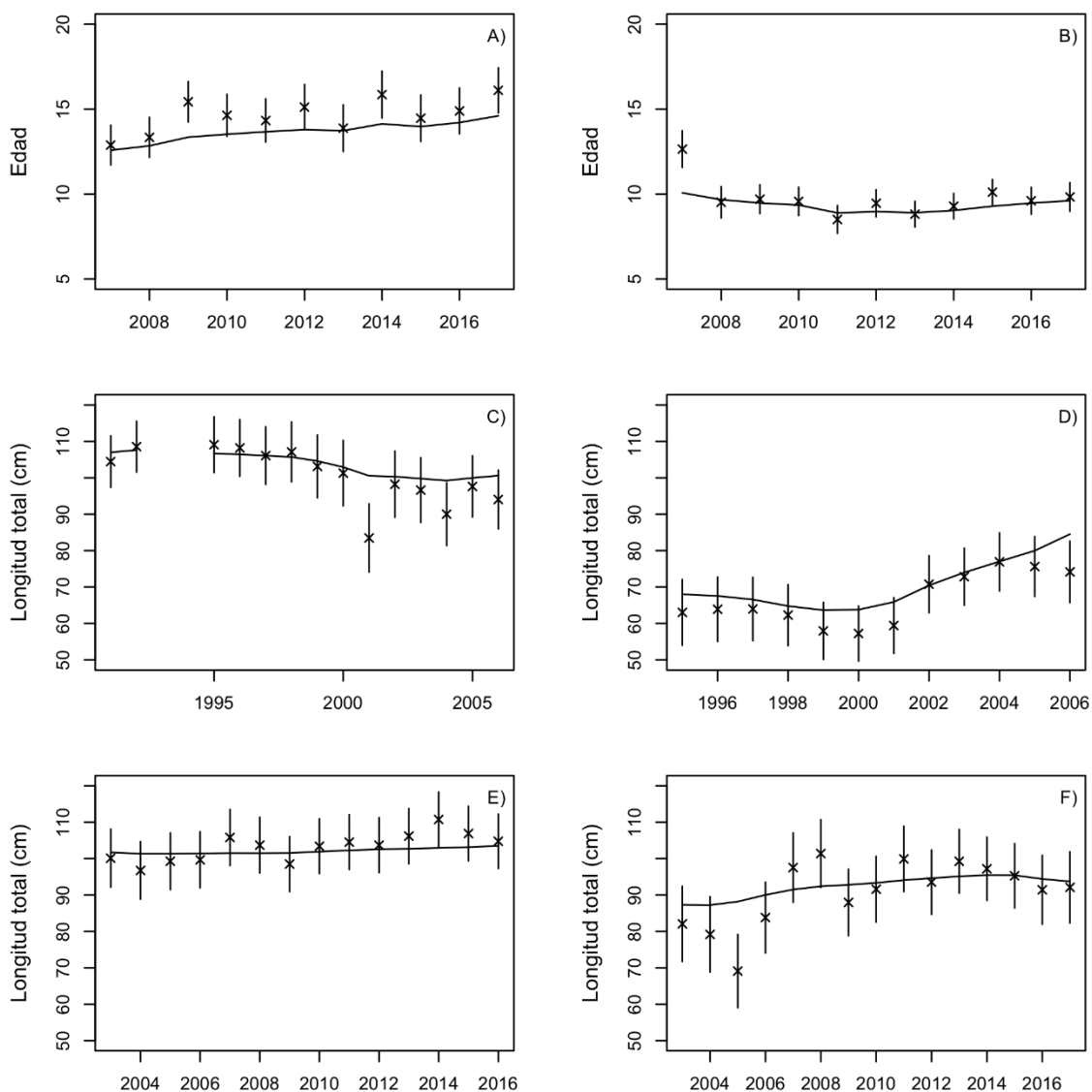


Figura 17. Edades observadas (x) y esperadas (línea continua) de dos conjuntos de composición de edades y cuatro conjuntos de composición de tamaños de las capturas de bacalao de profundidad incluidos en el Caso 1 de evaluación de stock. A) Pesquería industrial chilena; B) Pesquería artesanal de Chile; C) Pesquería industrial chilena; D) Pesquería artesanal de Chile; E) Pesquería de palangre argentina; F) Pesquería de arrastre Argentina. Las líneas verticales son intervalos de confianza de 95% para la edad media, calculados asumiendo un muestreo aleatorio simple con un tamaño de muestra de 60 en todos los años en el caso de las composiciones de edad y un tamaño de muestra igual a 20 en todos los años en el caso de las composiciones de longitud.

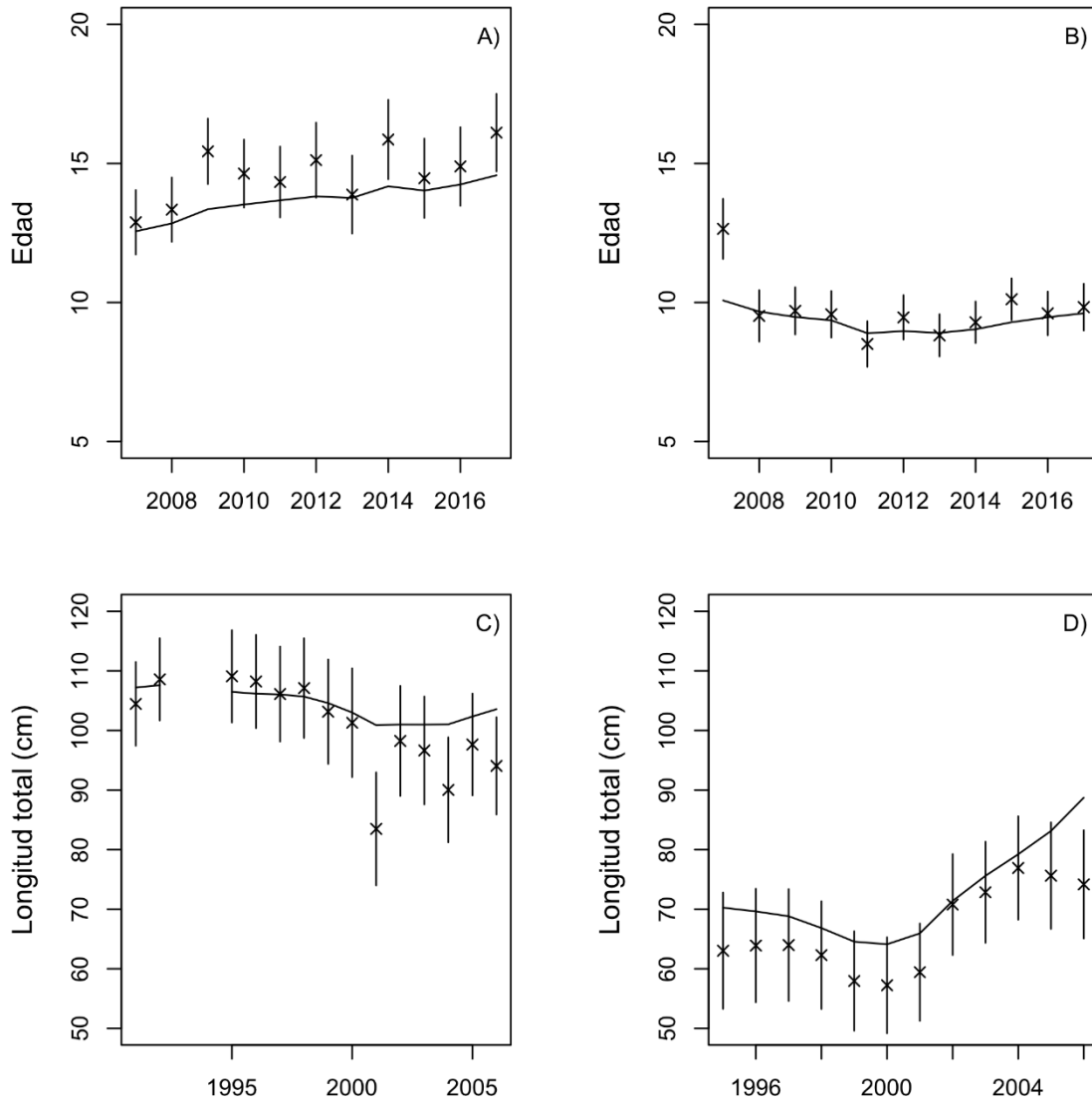


Figura 18. Edades observadas (x) y esperadas (línea continua) de dos conjuntos de composición de edades y dos conjuntos de composición de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad incluidos en el Caso 2 de evaluación de stock. A y C) Pesquería industrial chilena; B y D) Pesquería artesanal de Chile; Las líneas verticales son intervalos de confianza de 95% para la edad media, calculados asumiendo un muestreo aleatorio simple con un tamaño de muestra de 60 en todos los años en el caso de las composiciones de edad y un tamaño de muestra igual a 20 en todos los años en el caso de las composiciones de longitud.

**Tabla 7.**

Tamaños de muestra de primera y segunda etapa para dos conjuntos de datos de composición de edades y cuatro conjuntos de composición de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad ingresados en el modelo de evaluación. Caso1.

Pesquería	Tipo de dato	Verosimilitud	Etapa 1	Etapa 2	Rango de años
Chile					
Industrial	edad	Multinomial	60	63	2007-2017
Artesanal	edad	Multinomial	60	26	2007-2017
Industrial	longitud	Multinomial	20	17	1991,1992,1995-2006
Artesanal	longitud	Multinomial	20	36	1995-2006
Argentina					
Palangre	longitud	Multinomial	20	27	2003-2016
Arrastre	longitud	Multinomial	20	10	2003-2017

Tabla 8.

Tamaños de muestra de primera y segunda etapa para dos conjuntos de datos de composición de edades y dos conjuntos de composición de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad ingresados en el modelo de evaluación. Caso2.

Pesquería	Tipo de dato	Verosimilitud	Etapa 1	Etapa 2	Rango de años
Industrial	edad	Multinomial	60	62	2007-2017
Artesanal	edad	Multinomial	60	26	2007-2017
Industrial	longitud	Multinomial	20	14	1991,1992,1995-2006
Artesanal	longitud	Multinomial	20	34	1995-2006



Los coeficientes de variaci3n ingresados para los datos de captura, 3ndices de abundancia relativa y penalizaciones se entregan en la **Tabla 9**.

Tabla 9.

Coeficientes de variaci3n especificados para las verosimilitudes de los datos de captura, abundancia relativa y las penalizaciones de los desv3os del reclutamiento y selectividades.

Componente de Verosimilitud	Modelo de error	Coefficiente de variaci3n	Rango de a3os
CPUE palangre industrial.	Log normal.	0,2	1992-2006
CPUE cachalotera industrial.	Log normal.	0,2	2007-2017
CPUE artesanal.	Log normal.	0,2	1986-2017
Captura industrial.	Log normal.	0,05	1989-2017
Captura artesanal.	Log normal.	0,05	1978-2017
Datos Argentina			
CPUE palangre.	Log normal.	0,2	1994-2008
CPUE cachalotera.	Log normal.	0,2	2009-2016
Captura palangre.	Log normal.	0,05	1991-2016
Captura arrastre.	Log normal.	0,05	1986-2017
Penalizaciones			
Sigma \bar{r}	Log normal.	0,75	1978-2017
Sigma selectividad industrial	Log normal.	0,5	1991,1992,1995-2017
Sigma selectividad artesanal	Log normal.	0,5	1995-2017
Sigma selectividad palangre Ar.	Log normal.	0,25	2003-2016
Sigma selectividad arrastre Ar.	Log normal.	0,25	2003-2017



4.1.2 Incertidumbre de modelo

La exploración de la incertidumbre de modelo se realizó a través de 9 escenarios alternativos en el Caso 1 y 8 escenarios para el Caso 2 (**Tabla 10**). Los escenarios exploraron los efectos de los ponderadores de primera y segunda etapa en las composiciones de edad y longitud de las capturas (S0 y S1), el efecto de valores alternativos de steepness (0.4 y 0.8, el valor en el modelo base fue igual a 0.6; S2 y S3), valores alternativos para la mortalidad natural (0,1 y 0,2 , el valor usado en el escenario base fue 0.15; S4, S5) y el efecto de estimar M en el modelo (S6).

En el escenario 7 se exploró la situación alternativa de utilizar en la evaluación de stock las capturas oficiales de bacalao de profundidad (en sustitución de la serie de capturas corregidas por el IFOP; S7). En el escenario 8, se eliminó el primer punto de la serie de captura por unidad de esfuerzo de palangre industrial (sugerido como una posible sobreestimación en algunos foros técnicos. S8; **Figura 15A** y **Tabla 10**).

Además de entregar información acerca de la consistencia del modelo (**Tablas 11 y 12**), la exploración de escenarios alternativos de evaluación permite la comparación entre las tendencias de las variables de estado estimadas en el contexto del escenario base con el rango completo de incertidumbre representado por la variabilidad de las estimaciones de estas variables a través de todos los escenarios alternativos explorados (**Figuras 19 y 20**).

Tabla 10.

Resumen de los escenarios de análisis alternativos explorados en cada caso para estudiar la incertidumbre del modelo.

Escenario	Modificación	Comentario
S0		Casos base con componentes de verosimilitud ponderados con los pesos de primera etapa (Tabla 6).
S1		Casos base con componentes de verosimilitud ponderados con los pesos de segunda etapa (Tablas 6 y 7) de acuerdo con Francis (2011).
S2	h=0.4	Cambio en <i>steepness</i> .
S3	h=0.8	Cambio en <i>steepness</i> .
S4	M=0.1	cambio en M.
S5	M=0.2	cambio en M.
S6	M estimado	cambio en M. Estimado en el modelo de evaluación
S7	Capturas Anuario.	Uso de las capturas del Anuario Estadístico de Pesca (Sernapesca).
S8	Índices	Elimina el año 1992 del índice de palangre industrial chilena



Tabla 11.
Componentes de verosimilitud de los 8 escenarios de incertidumbre de modelo explorados en el Caso 1 de la evaluaci3n.

Escenario	Captura	Edad	Longitud	Selectividad	Índices	Recutas	F _{penal}	priors_1	priors_2	Total	B ₀	B _{f_{in}}	IRS	g _{max}
S0	0.103	107.645	134.294	77.501	56.090	-24.731	0.015	28.775	2.436	382.152	244899	47722	0.19	0.013
S1	0.113	96.6127	119.148	64.159	56.936	-24.785	0.015	29.285	5.243	346.765	257237	47189	0.18	0.010
S2	0.102	106.151	135.812	77.107	56.668	-24.366	0.015	28.906	2.357	382.912	334136	46886	0.14	0.007
S3	0.096	105.736	134.523	75.948	56.125	-24.335	0.015	28.969	1.461	378.541	209911	51931	0.25	0.008
S4	0.162	95.7336	143.103	69.476	60.011	-26.364	0.014	26.089	4.821	373.155	365167	41257	0.11	0.009
S5	0.048	112.115	135.368	81.332	54.866	-20.751	0.016	33.753	2.142	398.889	193244	72238	0.37	0.008
S6	0.143	100.995	137.341	73.158	57.044	-26.201	0.014	26.534	2.176	371.3	337082	40846	0.12	0.010
S7	0.110	106.362	135.823	76.370	56.932	-24.906	0.015	29.351	1.313	381.391	233060	50845	0.22	0.004
S8	0.070	103.27	134.005	77.021	48.569	-25.324	0.015	29.543	2.802	369.991	243194	49974	0.21	0.005



Tabla 12.

Componentes de verosimilitud de los 8 escenarios de incertidumbre del modelo explorados en el Caso 2 de la evaluación.

Escenario	Captura	C_edad	Clamaño	Selectividad	Indices	Rec	F_penal	Post_priors_q	Post_priors	Total	Bo	Bfin	Reducción	gmax
S0	0.196	96.0488	63.7965	67.348	48.026	-25.940	0.006	20.261	4.693	274.471	152281	28565	0.19	0.011
S1	0.215	85.3462	64.5828	58.186	48.691	-26.198	0.006	20.289	5.309	256.468	159966	28543	0.18	0.009
S2	0.185	89.3043	59.5951	61.567	48.880	-24.818	0.006	20.094	1.037	256.033	209294	30941	0.15	0.009
S3	0.188	96.3367	63.8178	67.915	47.761	-25.336	0.006	20.276	4.715	275.683	130150	29208	0.22	0.009
S4	0.196	96.0488	63.7965	67.348	48.026	-25.940	0.006	20.261	4.693	274.471	152281	28565	0.19	0.011
S5	0.062	96.3257	62.2682	70.532	46.723	-22.352	0.007	25.892	4.980	284.442	127766	53486	0.42	0.019
S6	0.257	92.2745	65.7188	64.856	48.384	-24.581	0.006	18.781	4.891	270.691	205053	24090	0.12	0.003
S7	0.206	95.9883	66.0022	69.279	52.643	-25.879	0.006	20.770	4.743	283.782	142218	28484	0.2	0.006
S8	0.115	90.6138	62.6097	64.917	42.263	-26.734	0.006	21.260	4.749	259.825	153476	31200	0.2	0.002

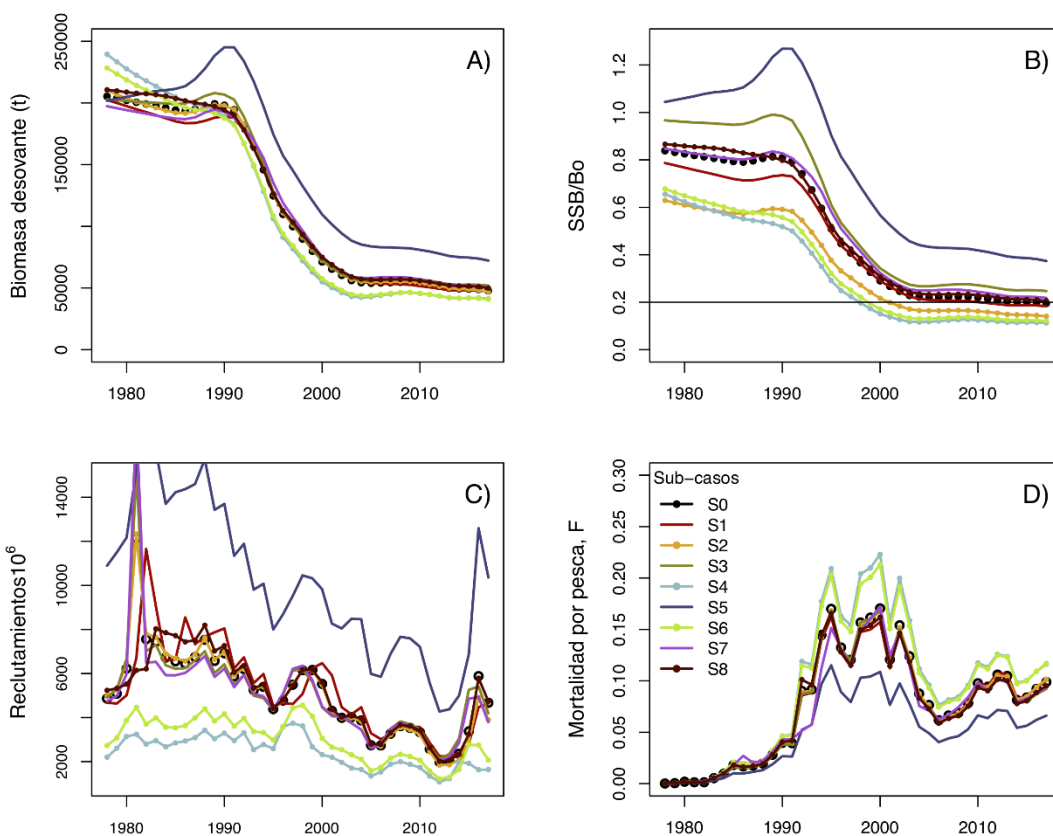


Figura 19. Trayectorias de la biomasa desovante, índice de reducción del stock, reclutamientos y mortalidad por pesca del bacalao de profundidad, explotado en las ZEE de Chile y Argentina entre los años 1978 y 2017, según 8 escenarios alternativos a la situación base (S0). Caso 1.

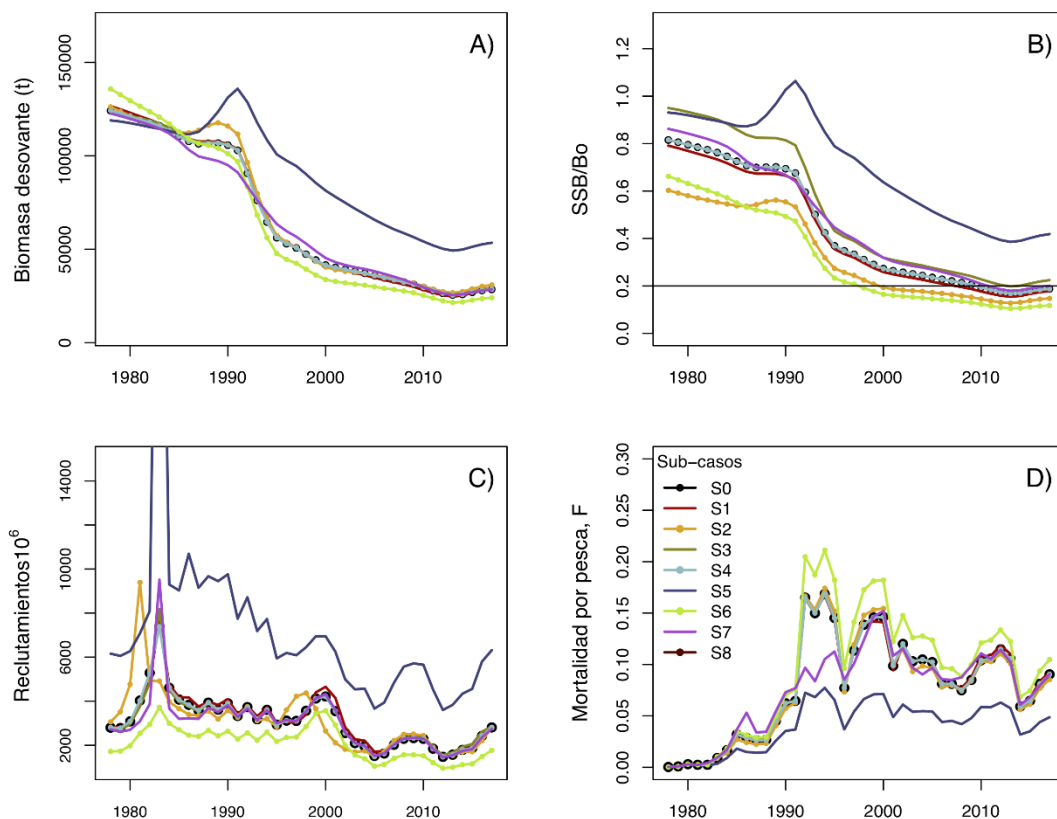


Figura 20. Trayectorias de la biomasa desovante, índice de reducción del stock, reclutamientos y mortalidad por pesca del bacalao de profundidad, explotado en la ZEE de Chile entre los años 1978 y 2017, según escenarios alternativos a la situación base (S0). Caso 2



4.1.3 Medidas de ajuste

Esta sección del informe reporta los ajustes de las diferentes piezas de información incluidas en la evaluación de stock. Más información de los ajustes se puede encontrar en el **Anexo 3**.

Caso 1: Modelo que incluye las pesquerías de la plataforma Pacífica (flotas industrial y artesanal de Chile) y Patagónica (Pesquerías de palangre y arrastre de Argentina).

El ajuste de este modelo a las composiciones de edad de las capturas industriales es aceptable, sin embargo, se observó una sub-estimación de las edades 20+ a partir de año 2008 y una sobreestimación de las edades 15 a 20 en los años 2012 a 2017 (**Figura 21; Anexo 3**).

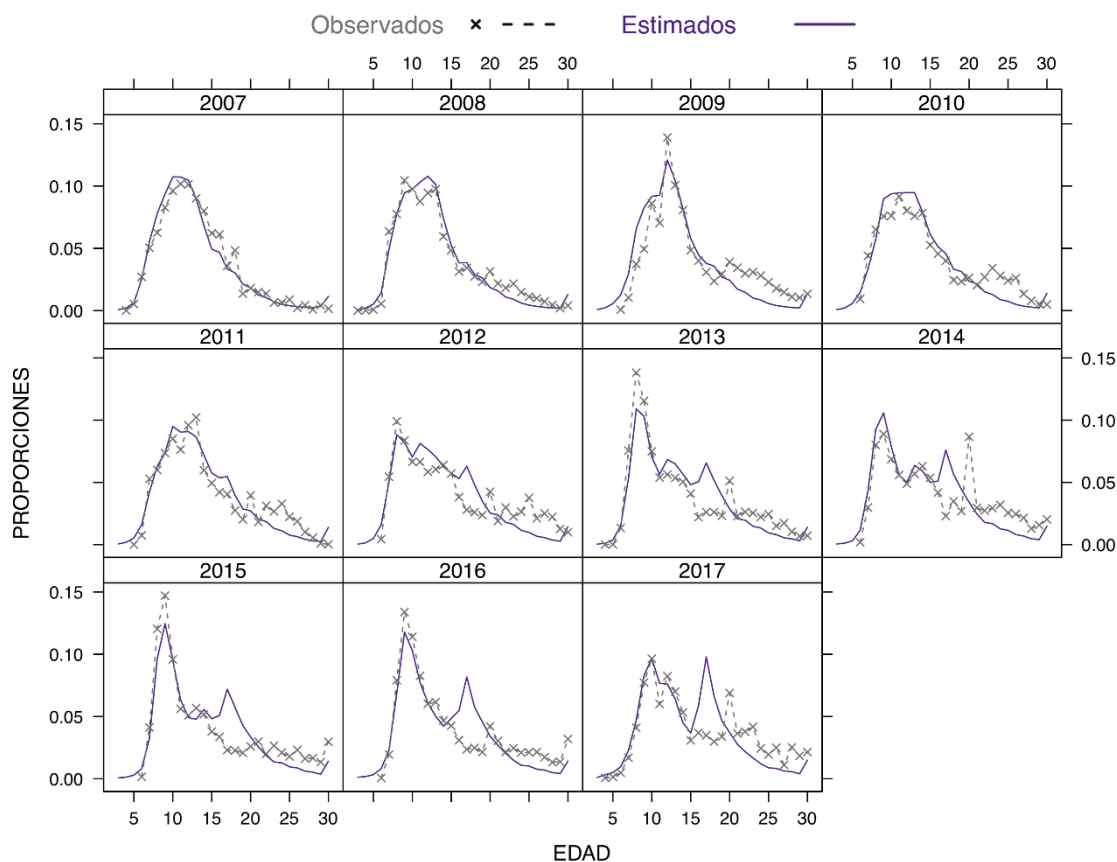


Figura 21. Ajuste del modelo a los datos de composición de edades de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota industrial chilena entre los años 2007 y 2017. Caso 1.



El ajuste de los datos de composición de edad de las capturas artesanales fue bueno. Sin embargo el modelo subestimó las edades 12 a 20 en el año 2007 y el grupo de edad 8 en el año 2011 (Figura 22; Anexo 3).

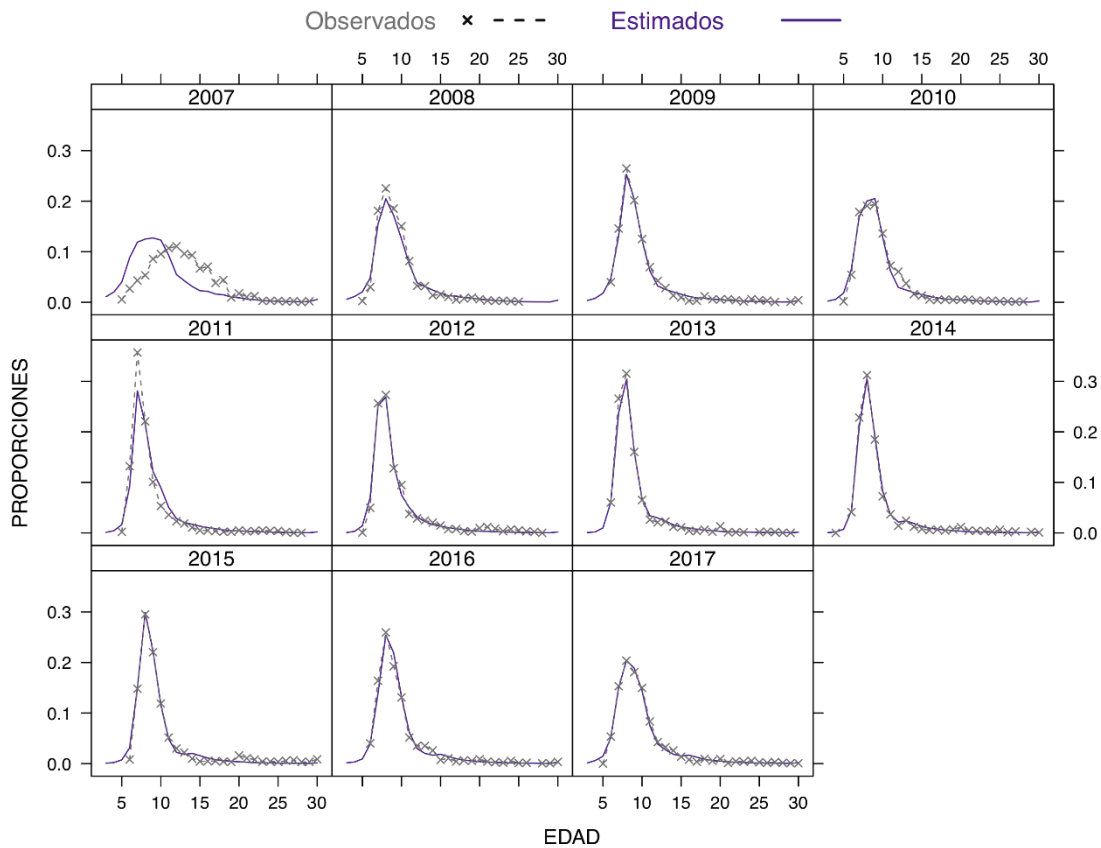


Figura 22. Ajuste del modelo a los datos de composición de edades de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota artesanal chilena entre los años 2007 y 2017. Caso 1.



El ajuste de las composiciones de longitud de la captura industrial fue relativamente bueno, sin embargo entre los a1os 1997 y 2004 el modelo sistem3ticamente subestim3 la longitud modal. El modelo tambi3n subreestim3 las longitudes entre 100 y 150 cm en los a1os 2001 y 2004 (**Figura 23; Anexo 3**).

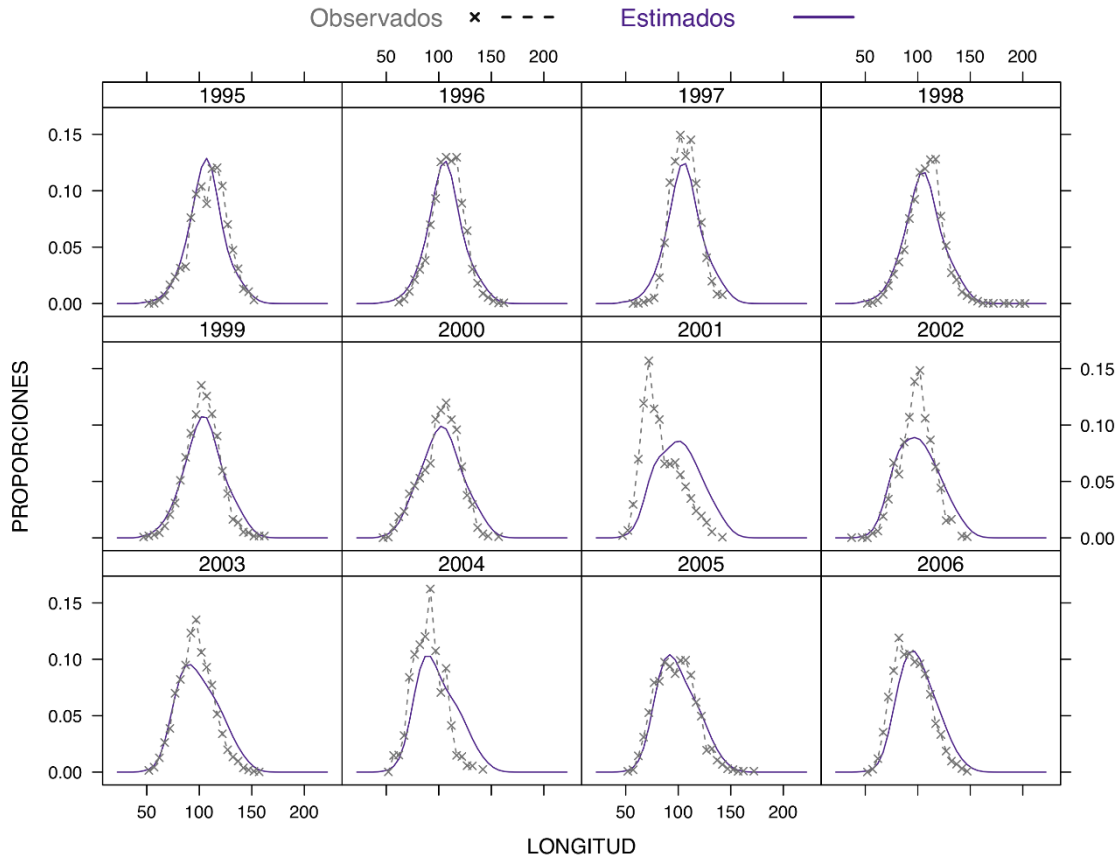


Figura 23. Ajuste del modelo a los datos de composici3n de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad extra3das por la flota industrial chilena en los a1os 1991,1992 y 1995 a 2006. Caso 1.



De manera similar a lo observado en el ajuste a los datos de composici3n de longitud de la captura industrial, el ajuste a los datos de composici3n de longitud de la captura artesanal subestim3 la longitud modal de los a1os 1995, 1997 y 1999 a 2001. En estos 3ltimos tres a1os, las diferencias entre las proporciones estimadas y observadas fueron particularmente notables (Figura 24; Anexo 3).

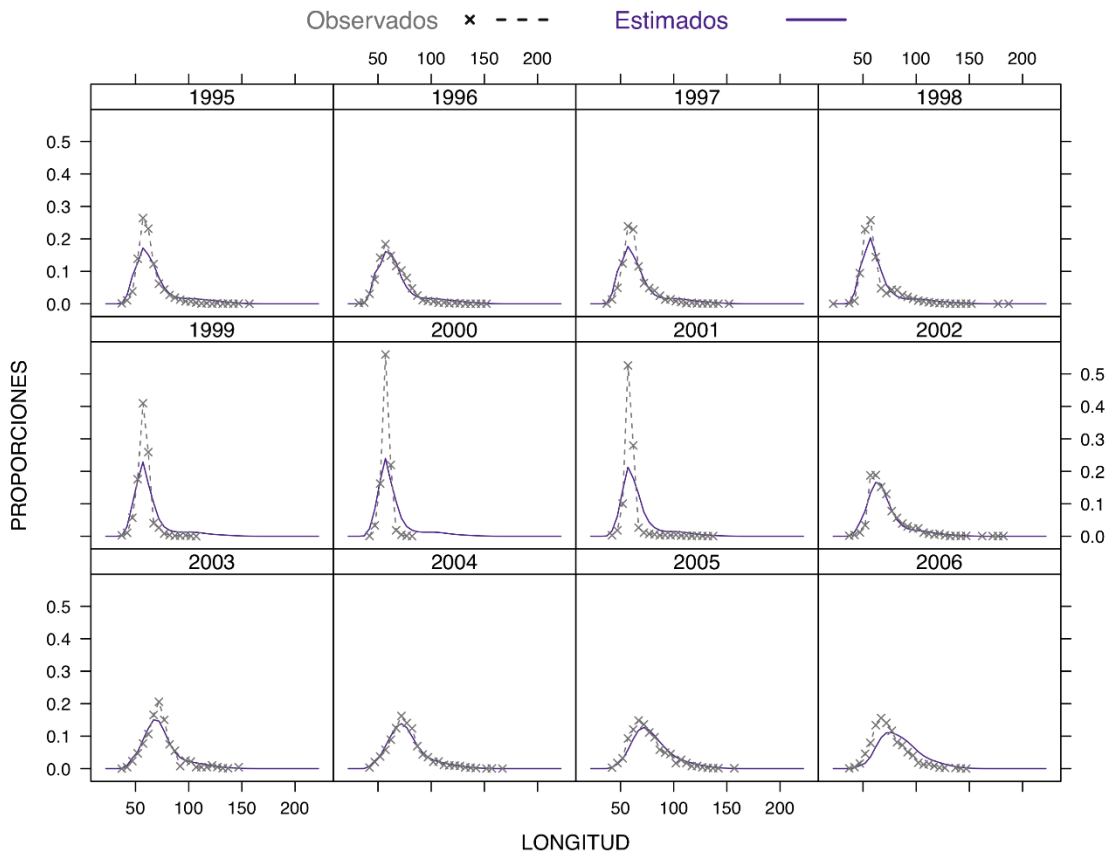


Figura 24. Ajuste del modelo a los datos de composici3n de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad extra3das por la flota artesanal chilena entre los a1os 1995 y 2006. Caso 1.



Los ajustes de las composiciones de tamaño de las capturas de la pesca con palangre argentina subestimaron la longitud modal de los años 2004, 2005 y 2009 y la sobreestimaron en los años 2012, 2015 y 2016. En contraste, los ajustes fueron bastante buenos para los años 2003, 2010, 2011 y 2013 (Figura 25; Anexo 3).

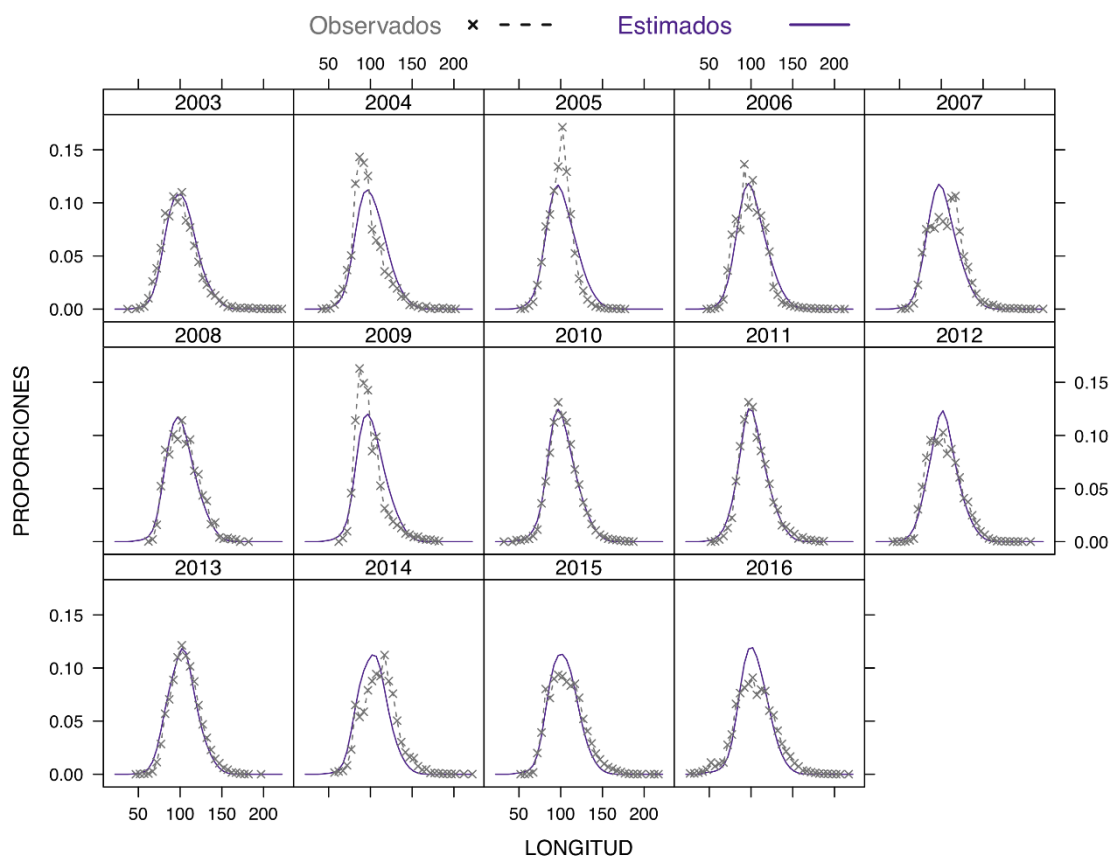


Figura 25. Ajuste del modelo a los datos de composición de logitud de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota palangrera argentina entre los años 2003 y 2016. Caso 1.



El ajuste de las composiciones de tamaño de las capturas de la pesca argentina de arrastre fue inferior al observado con las capturas de palangre (Figura 26; Anexo 3). De manera similar a lo observado con las capturas de la flota artesanal chilena (Figura 24), las subestimaciones de la longitud modal fueron particularmente notables en los años 2003, 2005 y 2008 a 2014.

Una característica de las composiciones de longitud de las capturas de arrastre en argentina es la moda de individuos juveniles (< 70 cm LT) observada en los años 2015 a 2017 (Figuras 11 y 26).

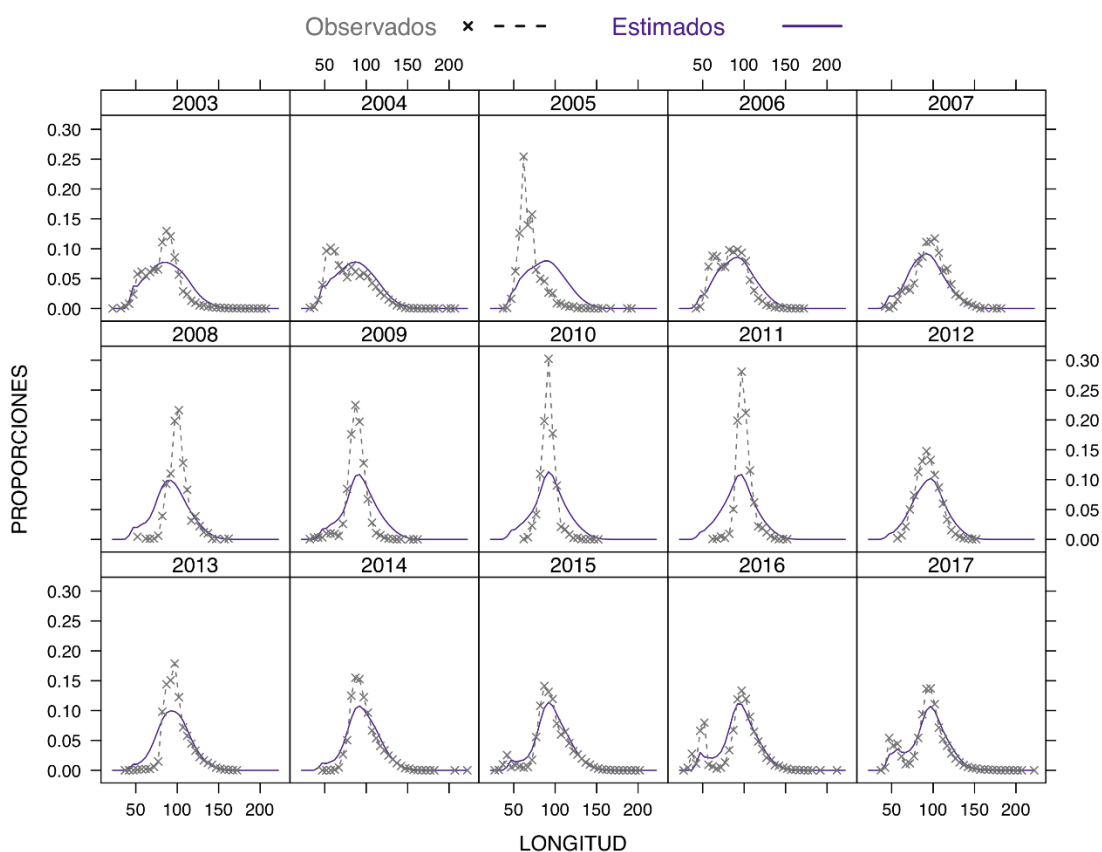


Figura 26. Ajuste del modelo a los datos de composición de longitud de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota arrastrera argentina entre los años 2003 y 2017. Caso 1.

La **Figura 27** presenta el ajuste a los índices de abundancia relativa. El análisis de estandarización del esfuerzo se reporta en el **Anexo 2** y los residuales de los ajustes se incluyen en el **Anexo 3**.

El ajuste de la captura por unidad de esfuerzo de la pesca chilena de palangre fue satisfactorio, pero el modelo no pudo ajustar el punto que corresponde al año 1992 (ver sección *incertidumbre de modelo* en este informe; **Figura 27 A**). El ajuste a las tasas de captura obtenidas por la flota industrial chilena mediante el uso de cachalotera fue en general inferior al obtenido con los datos de palangre (**Figura 27 A**). El ajuste a la serie de abundancia relativa estimada con datos de la pesca artesanal capturó la tendencia general pero no pudo reproducir el punto inicial de la serie correspondiente al año 1986 (**Figura 27 B**).

De manera similar a los ajustes obtenidos a los índices estimados con datos de las pesquerías chilenas, el ajuste a los datos de abundancia relativa obtenidos de la pesca con palangre argentina fue en general mejor al obtenido con los datos de la pesca con cachalotera, sin embargo en ambos casos el ajuste capturó la tendencia general de los índices (**Figura 27 C**).

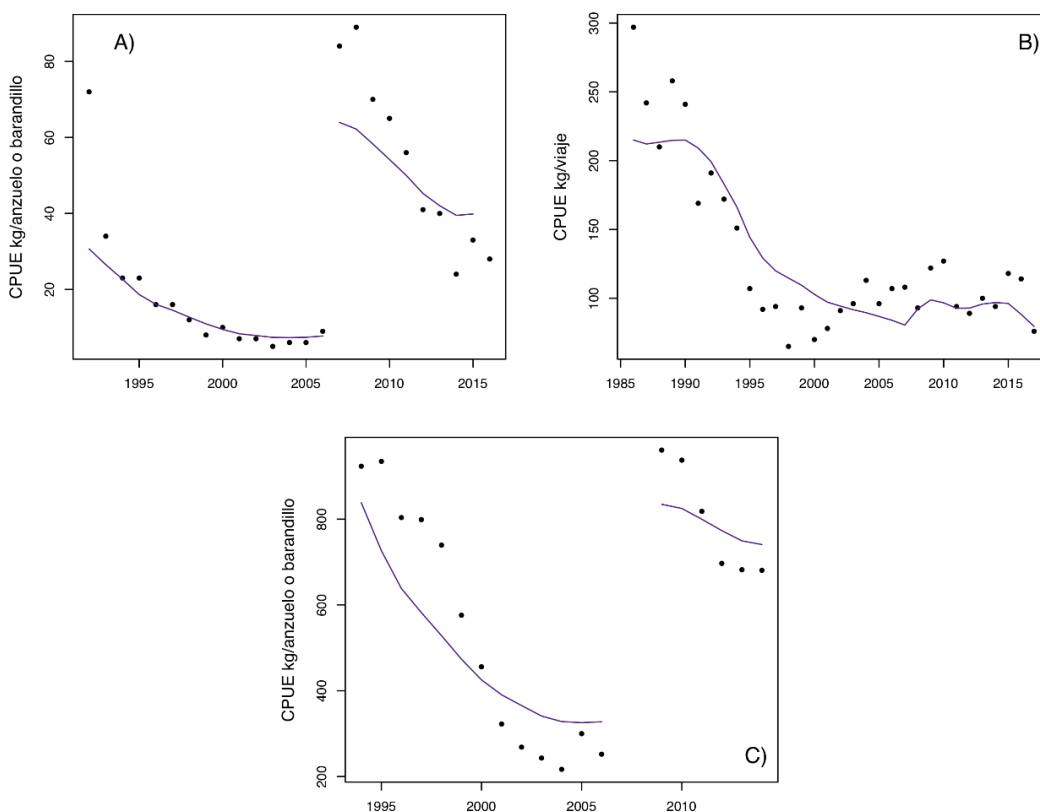


Figura 27. Ajuste del modelo a los índices de abundancia relativa. A): ajuste de los índices estimados con datos de la pesca chilena de palangre (1992-2006) y cachalotera (2007-2016). B): ajuste del índice estimado con datos de la pesca artesanal (1986-2017); C) Ajuste del modelo a los índices estimados con datos de la pesca Argentina de palangre (1994 - 2006) y cachalotera (2009 - 2014). Caso 1.



La **Tabla 13** muestra los valores calculados de la desviación estándar de los residuales normalizados (DERN) y de la raíz del cuadrado medio del error para los cinco índices de abundancia incluidos en la evaluación del Caso 1.

Tabla 13.

Valores de la desviación estándar de los residuales normalizados (DERN) y de la raíz del cuadrado medio del error (RCME) para los cinco índices de abundancia relativa incluidos en el ajuste del modelo del Caso 1.

Estadístico	Índices				
	Palangre Chile	Cachalotera Chile	Artesanal Chile	Palangre Argentina	Cachalotera Argentina
DERN	0.132	0.043	0.013	0.004	0.132
RCME	0.041	0.100	0.023	0.027	0.004

Los ajustes del modelo a las capturas correspondientes al Caso 1 se presentan en la **Figura 28**, los que son consistentes con los coeficientes de variación adoptados para esta pieza de información (**Tabla 9**).

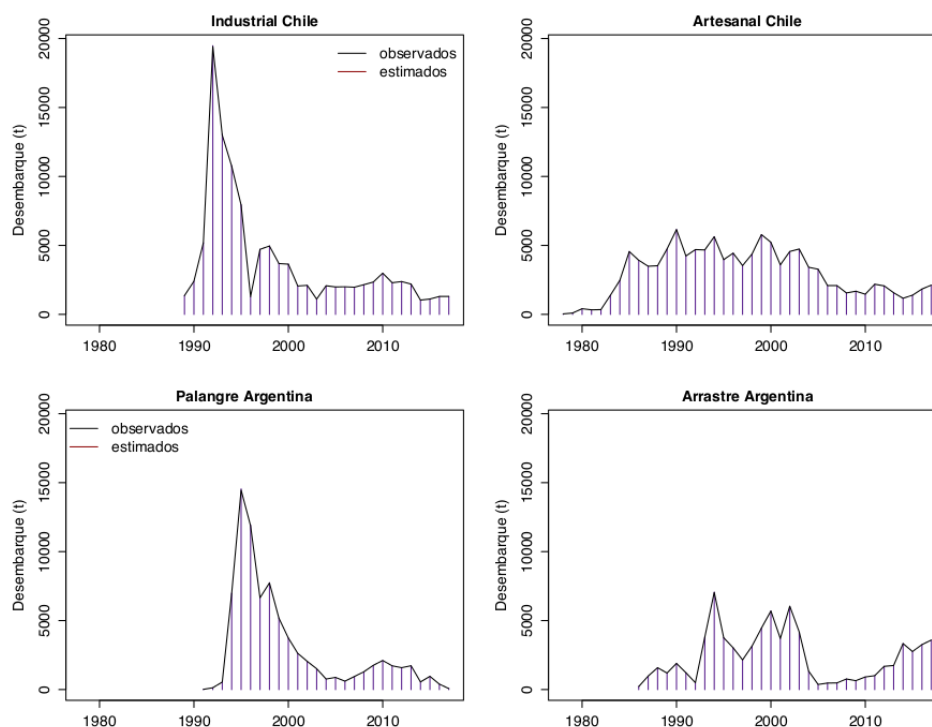


Figura 28. Ajuste del modelo a las capturas industriales (1989-2017) y artesanales (1978-2017) chilenas y de palangre (1991-2017) y arrastre argentinas (1986-2017). Caso 1.



Caso 2: Modelo que incluye sólo la plataforma Pacífica (flotas industrial y artesanal de Chile).

El ajuste del modelo a las composiciones de edad de la captura industrial en el Caso 2 no difirió sustancialmente del observado en el Caso 1. De este modo, se observó una subestimación de las edades 18+ en los años 2008 a 2017 y una sobreestimación de las edades 15 a 20 en los años 2013 a 2017 (**Figura 29; Anexo 3**).

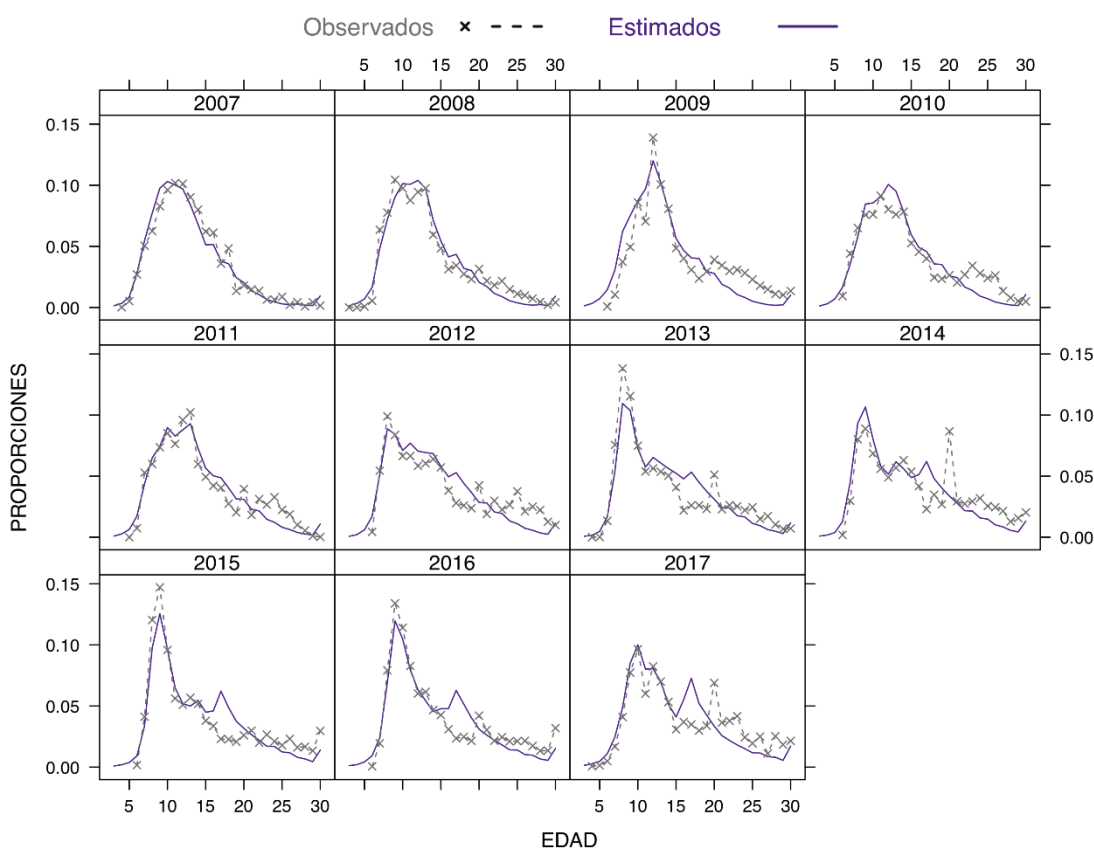


Figura 29. Ajuste del modelo a los datos de composición de edades de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota industrial chilena entre los años 2007 y 2017. Caso 2.

El ajuste de las composiciones de edad de la captura artesanal en el Caso 2, se observó insatisfactorio para los datos del año 2007 y, en una situación similar a lo observado en el Caso 1, el modelo también subestimó la edad modal del año 2011. A pesar de esto, el ajuste a este componente de los datos de entrada fue en general satisfactorio (**Figura 30; Anexo 3**).

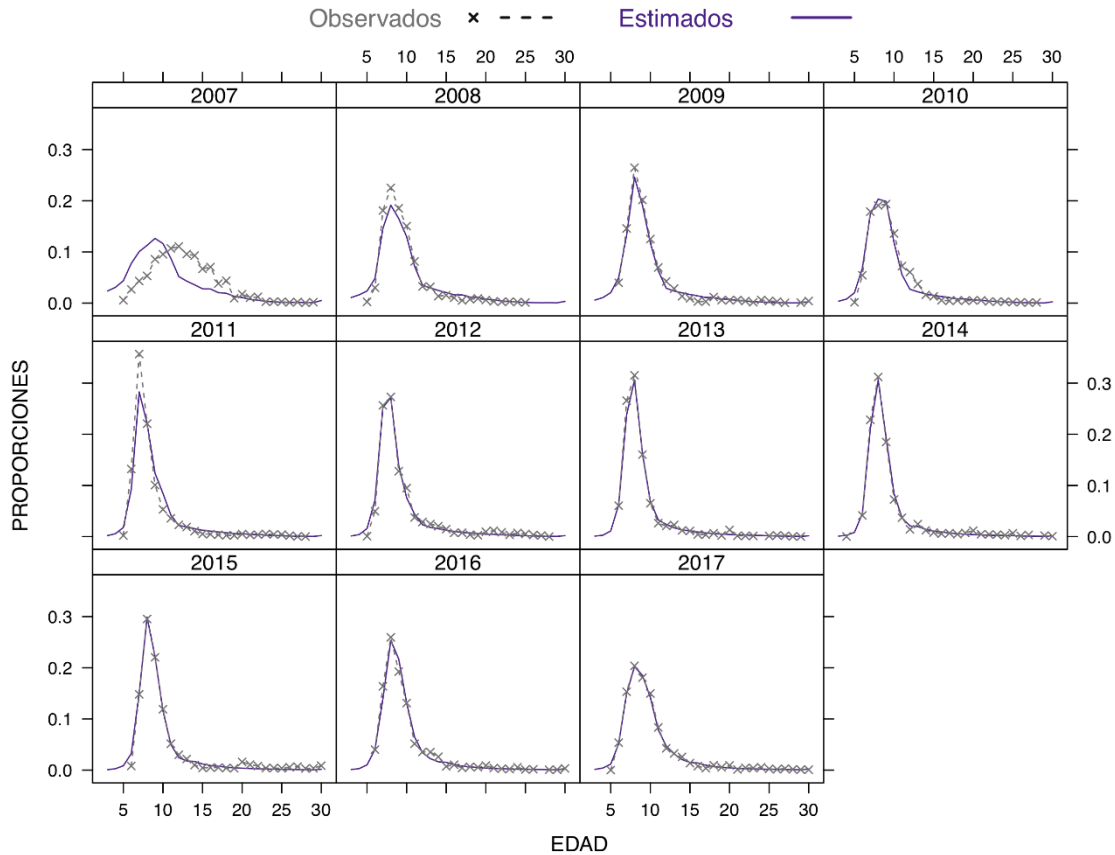


Figura 30. Ajuste del modelo a los datos de composición de edades de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota artesanal chilena entre los años 2007 y 2017. Caso 2.



El ajuste de los datos de composición de longitud de la captura industrial en el Caso 2 subestimó las longitudes modales de los años 1997 a 2004. También se observó una sobreestimación de las longitudes mayores a 100 cm en los años 2001, 2003, 2004 a 2006 (**Figura 31; Anexo 3**).

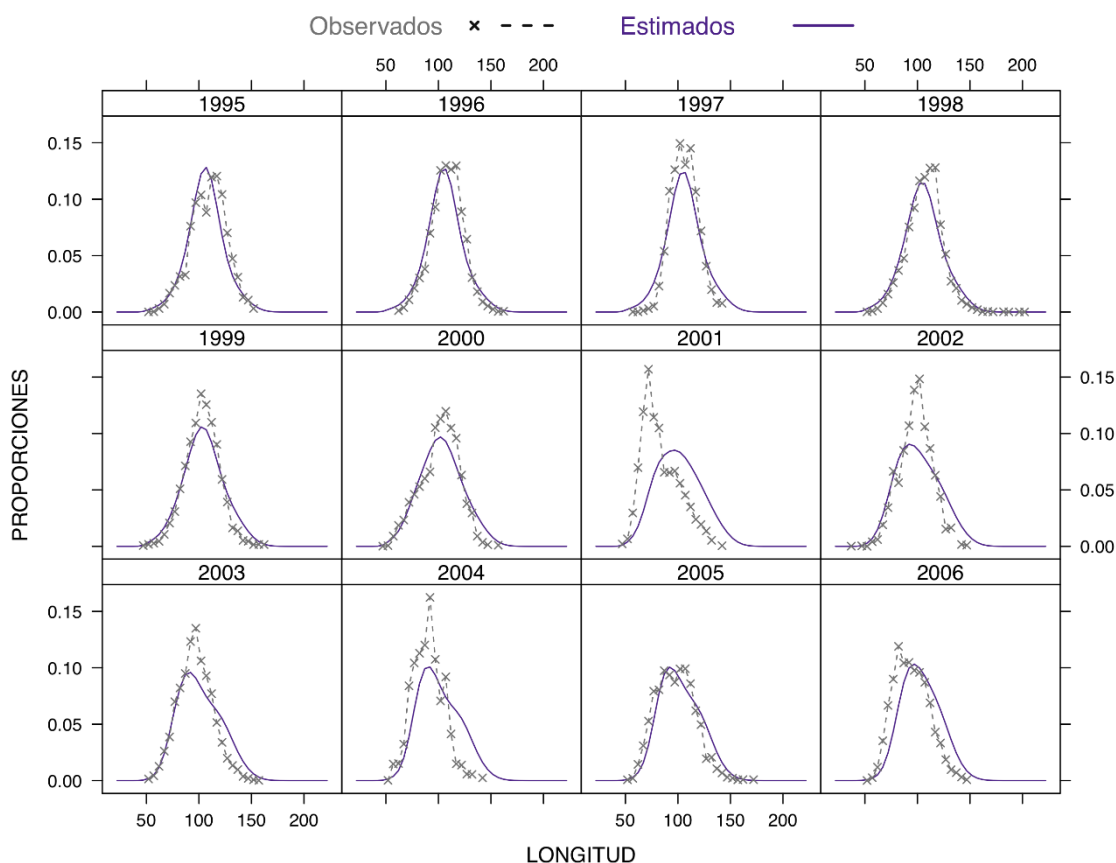


Figura 31. Ajuste del modelo a los datos de composición de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota industrial chilena entre los años 1995 y 2006. Caso 2.



El modelo del Caso 2 ajustó relativamente bien las composiciones de longitud de las capturas artesanales, sin embargo, con este modelo también se observó una subestimación de la longitud modal en los años 1995 y 1999 a 2006. Para los datos de este último año también se observó una sobreestimación de las longitudes entre 80 y 150 cm (**Figura 32; Anexo 3**).

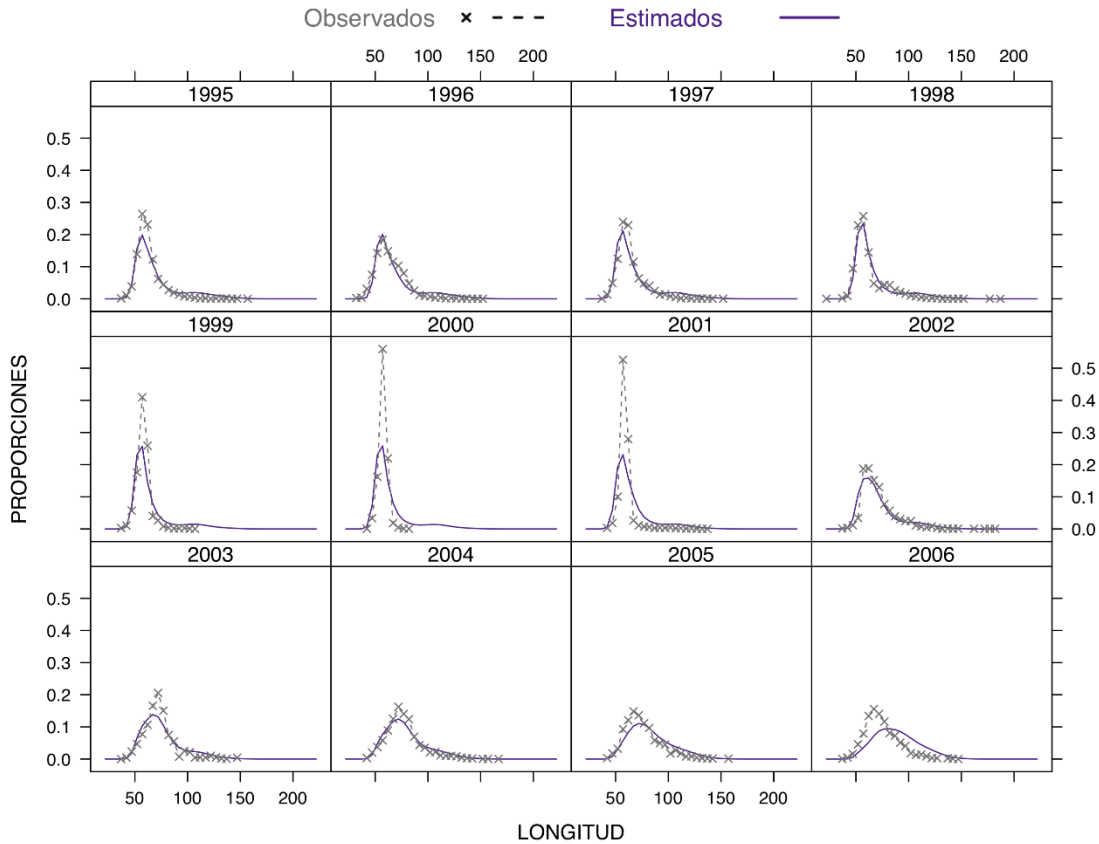


Figura 32. Ajuste del modelo a los datos de composición de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota artesanal chilena entre los años 1995 y 2006. Caso 2.



El ajuste de los índices de abundancia relativa fue similar a lo observado en el caso 1 para las mismas piezas de información, e.g. el ajuste de las tasas de captura estándar de palangre industrial fue bueno, sin embargo, el modelo no pudo ajustar la observación del año 1992; el modelo también capturó bien las tendencias de los índices basados en datos de la cachalotera y en las tasas de captura estándar de la flota artesanal (**Figura 33; Anexos 2 y 3**).

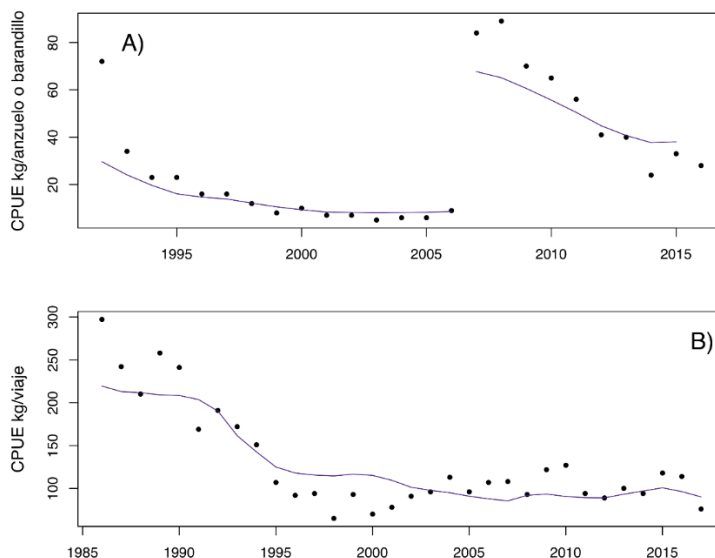


Figura 33. Ajuste del modelo a los índices de abundancia relativa. A): ajuste de los índices estimados con datos de la pesca chilena de palangre (1991-2006) y cachalotera (2007-2016). B): ajuste del índice estimado con datos de la pesca artesanal (1986-2017). Caso 2.

En la **Tabla 14** se entregan los valores de las desviaciones estándar de los residuales estandarizados y la raíz del cuadrado medio del error para los tres índices de abundancia relativa incluidos en la evaluación del Caso 2.



Tabla 14.

Valores de la desviación estándar de los residuales normalizados (DERN) y de la raíz del cuadrado medio del error (RCME) para los tres índices de abundancia relativa incluidos en el ajuste del modelo del Caso 2.

Estadístico	Índices		
	Palangre Chile	Cachalotera Chile	Artesanal Chile
DERN	0.162	0.036	0.013
RCME	0.086	0.017	0.023

El ajuste del modelo a las capturas incluidas en el Caso 2 se presenta en la **Figura 34**. De manera similar a lo mostrado para el Caso 1, el estrecho ajuste a los datos de captura refleja el pequeño coeficiente de variación conferido a esta pieza de información (**Tabla 9**)

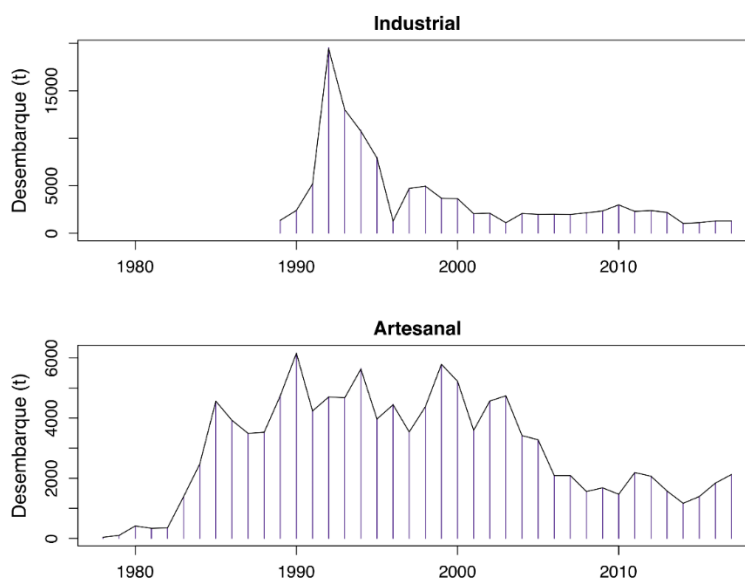


Figura 34. Ajuste del modelo a las capturas industriales (1989-2017) y artesanales (1978-2017). Caso 2.



4.1.4 Estimaciones de los parámetros

4.1.4.1 Selectividades

Una característica del actual modelo de evaluación de bacalao de profundidad (Tascheri et al. 2015), es la selectividad variable a través de los años y edades, una característica del modelo AMAK⁸ usado como plataforma para implementar esta evaluación.

El uso de una relación no paramétrica suavizada permitió la emergencia de patrones más complejos de la selectividad, tal como se aprecia en aquellas estimadas para las pesquerías chilenas (**Figura 35**).

En particular, la forma de la selectividad a la edad de la pesca artesanal mostró la notable concentración que esta pesquería tiene sobre las edades más jóvenes, con una escasa representación de los individuos mayores a 13 años (**Figuras 13 y 30**). La selectividad estimada para la pesca artesanal también reflejó el cambio experimentado en la composición de la captura a partir del año 2011, con una concentración aún mayor en los individuos jóvenes, destacándose en los últimos años los grupos de edad VII a VIII (Céspedes et. al. 2017; **Figura 35**).

La selectividad estimada para la flota industrial mostró también la comparativamente mayor representación de edades más viejas en las capturas de esta pesquería, al mismo tiempo que ésta también se concentra en individuos jóvenes (**Figura 35**). El patrón selectivo estimado para los años más recientes (2013 a 2017) fue también consistente con el incremento en la importancia relativa del grupo de edad centrado en individuos de 8 años observado en las capturas industriales durante este período de años (Céspedes et al. 2017; **Figuras 12 y 35**).

En contraste, las selectividades estimadas para las flotas argentinas fueron asintóticas en ambos casos y presentaron una gran estabilidad a través de los años, especialmente en el caso de las capturas con palangre (**Figura 35**). La relativa estabilidad observada en las selectividades estimadas para la pesca de arrastre argentina fue notable, si se considera la importancia relativa de los individuos pequeños en la composición de las capturas de los años 2003 a 2006 y la moda de estos individuos de menor tamaño claramente distinguishible en las capturas de los años 2015 a 2017 (**Figuras 11 y 35**).

⁸ <https://github.com/NMFS-toolbox/AMAK>

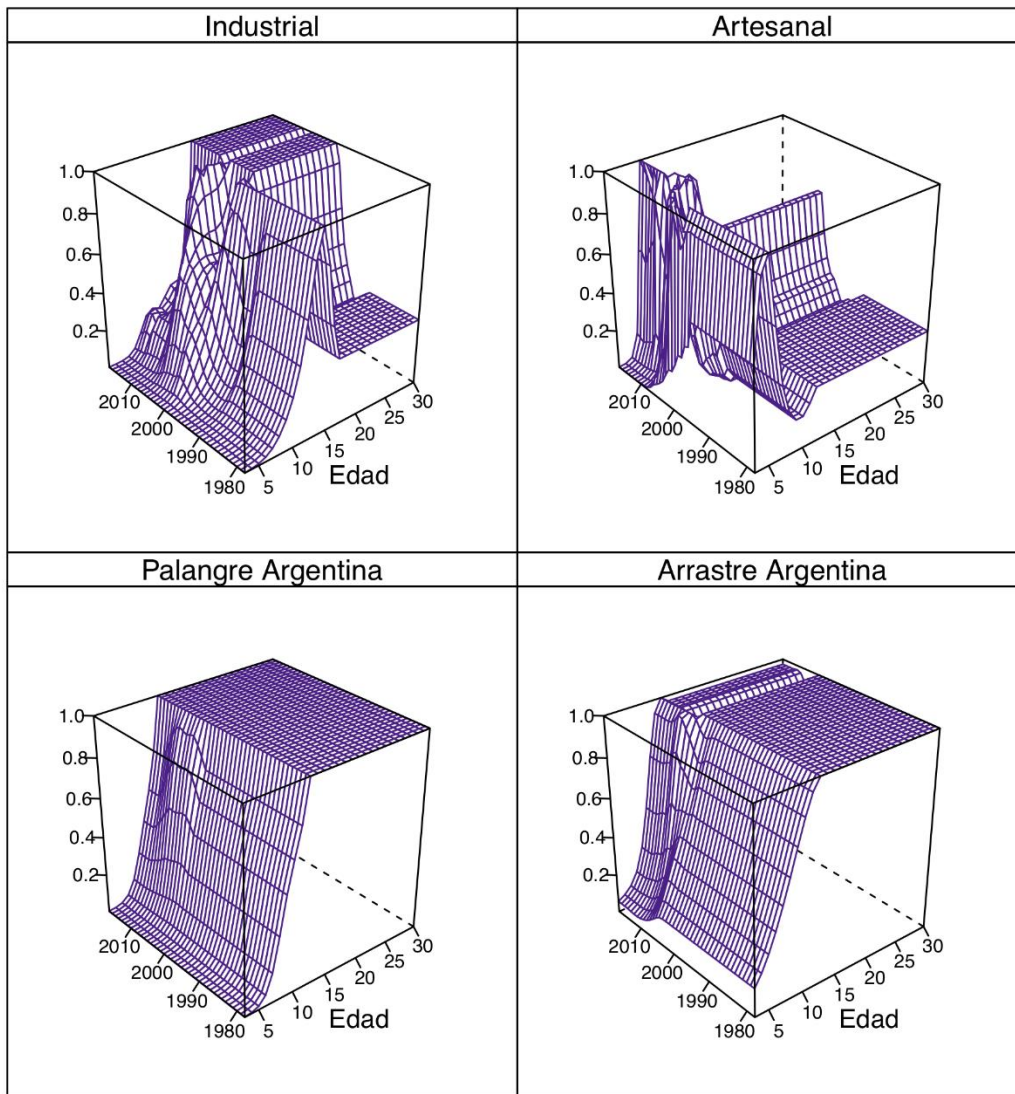


Figura 35. Selectividades estimadas para las flotas industrial y artesanal chilena y las flotas de palangre y arrastre de Argentina. Caso 1.

Las selectividades estimadas para las flotas industrial y artesanal en el Caso 2, son esencialmente las mismas obtenidas del ajuste del modelo en el Caso 1, con una coherencia de las selectividades estimadas con la mayor representaci3n de las edades m1s viejas en las capturas industriales y con una concentraci3n de las capturas de ambas flotas en los individuos juveniles (**Figura 36**). En las selectividades estimadas para la flota artesanal en este Caso 2, tambi3n se aprecia una mayor concentraci3n de las capturas en los individuos j3venes a partir del a1o 2011 (**Figura 36**).

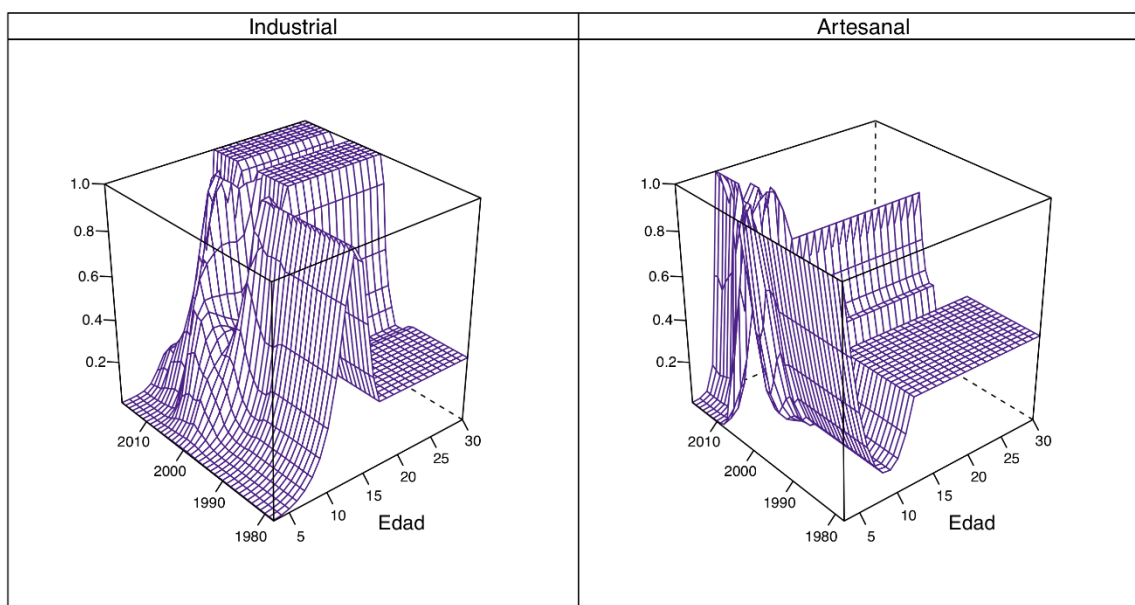


Figura 36. Selectividades estimadas para la flota industrial y artesanal chilena. Caso 2.



4.1.4.2 Mortalidades

La mortalidad por pesca total estimada en el Caso 1 alcanzó el valor de la mortalidad natural en el año 1994, oscilando en torno a este nivel hasta el año 2003. Estos valores máximos de mortalidad por pesca coinciden con el desarrollo inicial de las pesquerías industriales en Chile y Argentina y con la actividad artesanal chilena durante este período, cuyas mayores capturas fueron obtenidas entre el inicio de los años 90's y el año 2004 (**Figuras 4 y 37**).

Entre los años 2006 y 2017 se observó un nuevo incremento en la mortalidad por pesca, esta vez con valores inferiores a la mortalidad natural (**Figura 37**). Esta última alza se originó en un aumento de los desembarques tanto en Chile como en Argentina a partir del año 2008-09 (**Figura 4**), pero particularmente con la actividad observada en la pesca de arrastre argentina (**Figura 5**). La tendencia a un incremento de la mortalidad por pesca en los últimos años se vio transitoriamente interrumpida por una importante reducción en la cuota de captura chilena en el año 2014, en particular aquella asignada a la pesca industrial. Sin perjuicio de esto último, en años recientes la mortalidad por pesca ha ido en aumento como consecuencia de los recientes incrementos en la captura de ambos países, en particular aquellas asignadas a la flota artesanal chilena y de arrastre en argentina. Este último incremento en la mortalidad por pesca tuvo lugar a pesar de una notable reducción en la operación de la flota de palangre argentina (**Figuras 5 y 37**).

En el Caso 2 se observó un patrón similar, con los mayores valores de mortalidad por pesca estimados para los años 1993 a 2000 (con la notable excepción del año 1996), los que oscilan en torno al valor de la mortalidad natural. A diferencia del Caso 1, sin embargo, no se apreció un nuevo incremento gradual de la mortalidad a partir del año 2005 sino un rápido incremento a partir del año 2009, que culmina con la reducción de la cuota de captura en el año 2014 y un nuevo incremento entre este último año y el año 2017, el que se origina en las modificaciones de las cuotas de captura realizadas durante este último período (**Figura 37**).

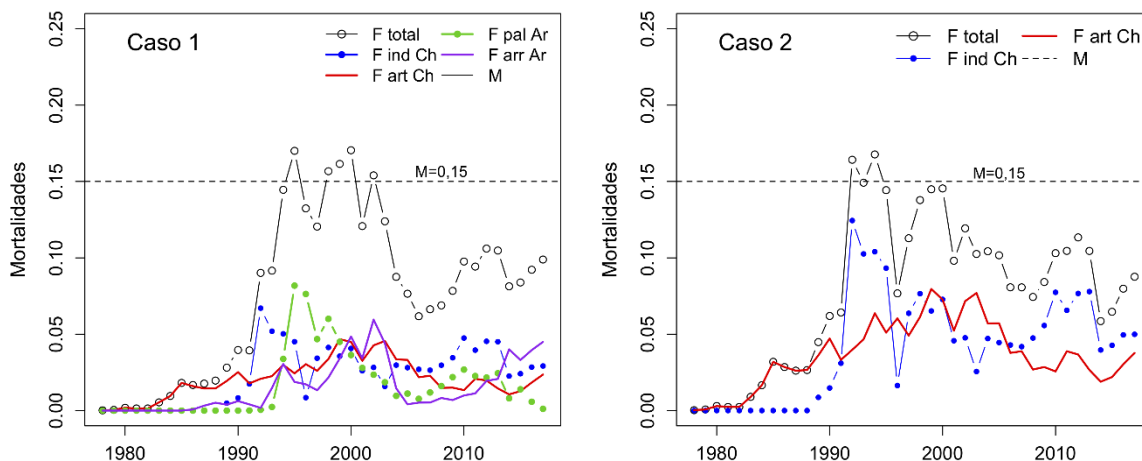


Figura 37. Mortalidades por pesca de las edades completamente reclutadas a la pesquería de bacalao de profundidad. F total: mortalidad total; F ind Ch: pesquería industrial chilena; F pal Ar: pesquería palangre argentina; F arr Ar: pesquería arrastre argentina; F art Ch: pesquería artesanal chilena. La línea segmentada corresponde al valor de la mortalidad natural M. Casos 1 y 2.

4.1.4.1 Reclutamientos

Como característica general los reclutamientos medios de bacalao de profundidad, estimados tanto en el Caso 1 como en el Caso 2, presentan una reducción continua en el tiempo que es consistente con similar tendencia seguida por la biomasa desovante del recurso (ver más adelante) (**Figuras 38 y 39**).

Las oscilaciones del reclutamiento encontradas por debajo de la media están asociadas a una serie de desvíos negativos estimados para los años 2001 a 2014 y que fueron más pronunciados en los años 2005 y 2012 (**Figuras 38 y 39**).

Por el contrario, los reclutamientos encontrados por sobre la media estuvieron asociados a la serie de desvíos positivos estimados para los años 1999 a 2000 y 2015 a 2016 (**Figuras 38 y 39**).

Los desvíos positivos (o próximos a cero) estimados para los últimos años, reflejaron la mayor incidencia de individuos jóvenes en las capturas chilenas, en particular en la pesca artesanal donde se ha observado una mayor importancia relativa de los individuos más jóvenes a partir del año 2011. En el Caso 1, esta situación se ve además acentuada por el ingreso de una moda de peces jóvenes recientemente observada en las capturas del Atlántico, en particular en la composición de tamaños de las capturas de arrastre de Argentina, en donde en los años 2015 a 2016 se aprecia un notable ingreso de individuos juveniles (**Figuras 11, 26 y 39**).

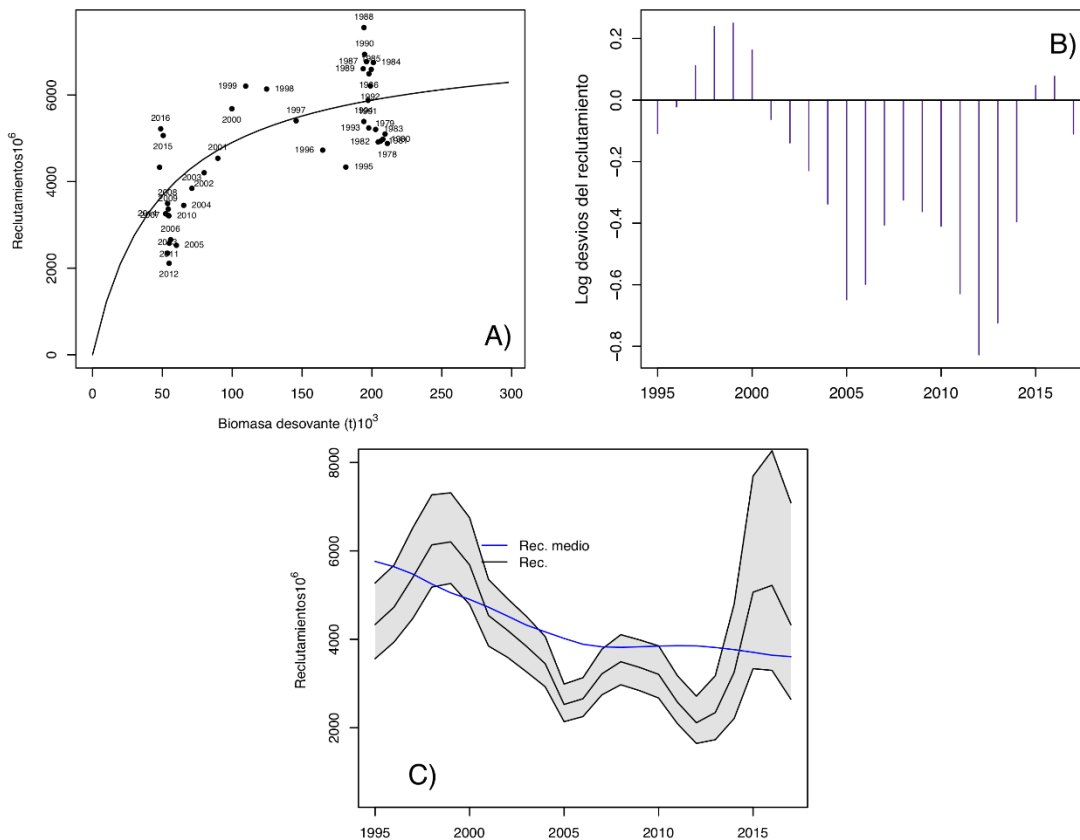


Figura 38. Reclutamientos de bacalao de profundidad estimados entre los años 1978 y 2016; A) Curva stock reclutas y reclutamientos estimados en cada año; B) desvíos log normales; C) Reclutamiento estimado con banda de confianza de 95%. Rec. medio: reclutamiento Beverton y Holt sin error de proceso. Caso 1.

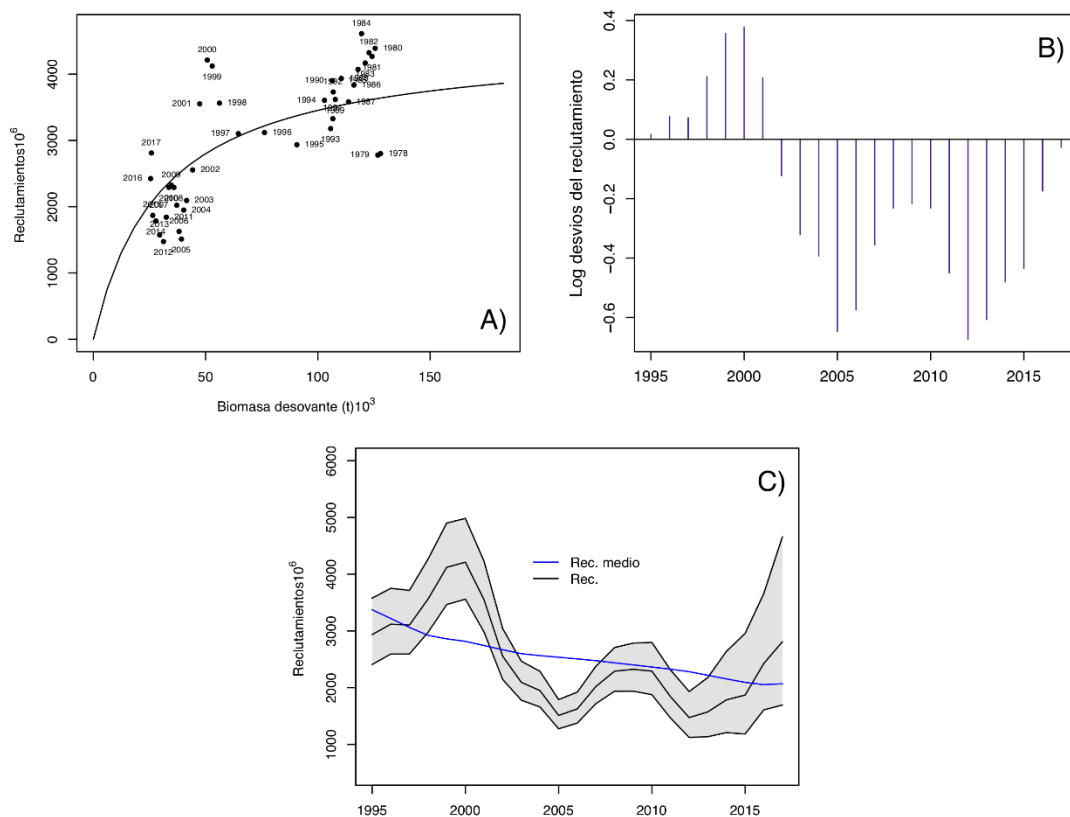


Figura 39. Reclutamientos de bacalao de profundidad estimados entre los a \u00f1 os 1978 y 2016; A) Curva stock reclutas y reclutamientos estimados en cada a \u00f1 o; B) desv\u00edos log normales; C) Reclutamiento estimado con banda de confianza de 95%. Rec. medio: reclutamiento Beverton y Holt sin error de proceso. Caso 2.



4.1.4.1 Biomosas

La **biomasa total**: peso de la población de 3 años o mayores (3+), presente a inicios de cada año.

La **biomasa desovante**: peso de la población que ha alcanzado la madurez sexual y que se encuentra presente a inicios de agosto.

Los cambios estimados en las series de biomasa siguieron una trayectoria muy similar en los dos casos estudiados en la evaluación, pero obviamente a una escala diferente. De acuerdo con estas estimaciones, el tamaño total del stock se mantuvo relativamente estable entre los años 1978 y 1990, donde se mantuvo en un tamaño promedio de 298 mil toneladas de acuerdo con el Caso 1 y de 171 mil toneladas según el Caso 2 (**Figura 40; Tablas 15 y 16**).

Coincidiendo con el desarrollo inicial de la actividad industrial y con los mayores valores históricos de los desembarques en el sector artesanal (**Figuras 4, 37 y 40; Tablas 15 y 16**), entre los años 1991 y 2004 el tamaño total del stock experimentó una rápida reducción desde 298 mil toneladas a 105 mil toneladas en el Caso 1 y desde 165 mil toneladas a 67 mil toneladas en el Caso 2 (**Figura 40; Tablas 15 y 16**).

Entre los años 2005 y 2017 la biomasa total se ha mantenido relativamente estable, si bien continúa disminuyendo, pero a una tasa muy baja. De este modo, en estos últimos años la biomasa total ha variado alrededor de una media general de 99 mil toneladas de acuerdo con las estimaciones del Caso 1 y en torno a las 57 mil toneladas de acuerdo con el Caso 2. En ambos casos, la biomasa total en el año 2017 mostró una reducción de un 10% a 11% respecto de aquella estimada para el año 2005 (**Figura 40; Tablas 15 y 16**).

En los dos casos evaluados, la biomasa desovante estimada siguió la trayectoria descrita para la biomasa total y de este modo entre los años 1978 y 1990 se mantuvo relativamente estable o experimentó una lenta disminución, manteniendo un valor medio estimado para estos años de 199 mil toneladas en el Caso 1 y 114 mil toneladas en el Caso 2 (**Figura 40; Tablas 15 y 16**).

En ambos casos evaluados, la biomasa desovante experimentó una reducción continua entre los años 1991 y 2017, si bien la velocidad de esta reducción disminuyó a través de los años (**Figura 40**). De este modo, entre 1991 y 1996, la reducción de la biomasa desovante fue de un 44% (195 mil a 110 mil toneladas; $-14,1$ toneladas año⁻¹) en el Caso 1 y 50% en el Caso 2 (103 mil a 53 mil toneladas; $-8,3$ toneladas año⁻¹), entre los años 1997 y 2011 la biomasa desovante se redujo en 47% de acuerdo al Caso 1 (100 mil a 53 mil toneladas; $-3,1$ toneladas año⁻¹) y 45% de acuerdo al Caso 2 (51 mil a 28 mil toneladas; $-1,5$ toneladas año⁻¹) y entre los años 2012 y 2017 la biomasa desovante estimada en el Caso 1 se redujo en un 7% (53 mil a 48 mil toneladas; $-0,6$ toneladas año⁻¹) y la estimada en el Caso 2 de hecho se incrementó en un 8% (26 mil a 29 mil toneladas; $0,4$ toneladas año⁻¹) (**Figura 40; Tablas 15 y 16**).

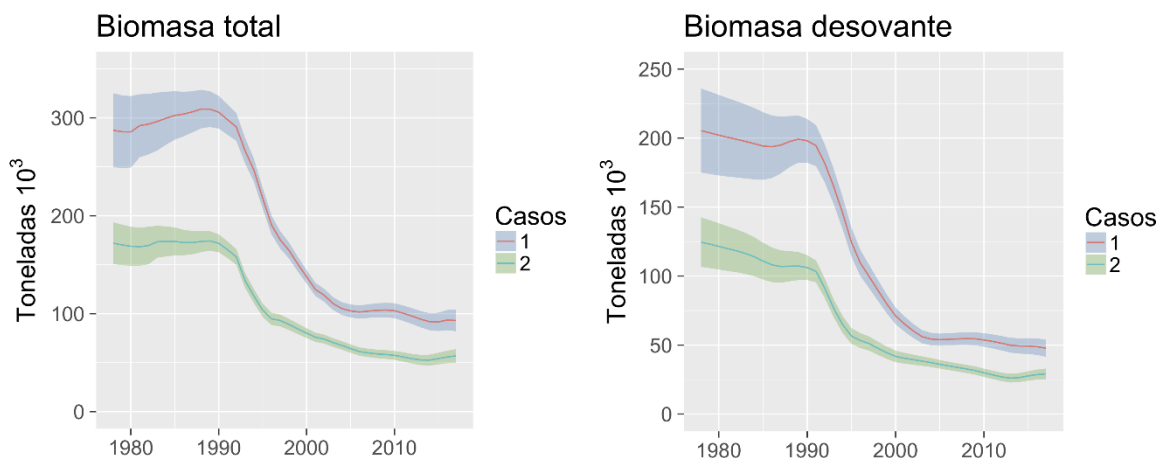


Figura 40. Series de biomasa total (edades 3+; panel izquierdo) y biomasa desovante (panel derecho) de bacalao de profundidad, con las respectivas bandas de confianza de 95% estimadas en los Casos 1 y 2. Años 1978 a 2017.

**Tabla 15.**

Biomasa total 3+, biomasa desovante, reclutamientos, mortalidad por pesca y tasas de explotación de bacalao de profundidad, estimadas para los años 1993 a 2017. Caso 1.

Años	Biomasa total 3+ (toneladas)	Biomasa desovante (toneladas)	Reclutas (10 ⁶)	Mort. Pesca (F)	Tasa Explot. (u)
1993	266510	164910	5249	0.09	0.08
1994	246710	145860	5392	0.14	0.13
1995	218040	124690	4383	0.17	0.15
1996	190790	109640	4774	0.13	0.12
1997	175400	99736	5494	0.12	0.11
1998	164600	89690	6150	0.16	0.13
1999	150640	79871	6162	0.16	0.14
2000	137690	71142	5527	0.17	0.15
2001	124770	65330	4306	0.12	0.11
2002	118880	60248	3988	0.15	0.13
2003	110470	56088	4017	0.12	0.11
2004	105280	54319	3871	0.09	0.08
2005	102870	53880	2745	0.08	0.07
2006	101690	54139	2731	0.06	0.06
2007	102630	54469	3269	0.07	0.06
2008	103440	54653	3609	0.07	0.06
2009	103750	54546	3533	0.08	0.07
2010	103070	53646	3334	0.10	0.09
2011	100510	52630	2576	0.09	0.08
2012	97595	51307	1984	0.11	0.09
2013	94346	49886	2043	0.10	0.09
2014	91887	49348	2360	0.08	0.07
2015	91674	49276	3376	0.08	0.07
2016	93513	48811	5879	0.09	0.08
2017	93088	47722	4670	0.10	0.09

**Tabla 16.**

Biomasa total 3+, biomasa desovante, reclutamientos, mortalidad por pesca y tasas de explotación de bacalao de profundidad, estimadas para los años 1993 a 2017. Caso 2.

Años	Biomasa total 3+ (toneladas)	Biomasa desovante (toneladas)	Reclutas (10 ⁶)	Mort. Pesca (F)	Tasa Explot. (u)
1993	133410	76213	3178	0.15	0.13
1994	117620	64595	3604	0.17	0.14
1995	103190	56163	2935	0.15	0.13
1996	94370	52957	3119	0.08	0.07
1997	92743	50776	3103	0.11	0.10
1998	88685	47374	3563	0.14	0.12
1999	84200	44199	4121	0.15	0.13
2000	79952	41544	4211	0.15	0.13
2001	75693	40235	3550	0.10	0.09
2002	73824	39211	2554	0.12	0.11
2003	70265	38186	2094	0.10	0.09
2004	67309	37154	1949	0.10	0.09
2005	64007	35894	1511	0.10	0.09
2006	60898	34753	1626	0.08	0.07
2007	59466	33618	2022	0.08	0.07
2008	58286	32484	2290	0.07	0.07
2009	57593	31244	2324	0.08	0.08
2010	56699	29536	2291	0.10	0.09
2011	55170	27895	1841	0.11	0.09
2012	53504	26431	1472	0.11	0.10
2013	52281	25495	1574	0.11	0.09
2014	52148	25863	1786	0.06	0.05
2015	53838	26998	1869	0.06	0.06
2016	55608	27959	2425	0.08	0.07
2017	56924	28565	2810	0.09	0.08



4.1.5 Resumen de la evaluación de stock

La evaluación de stock de bacalao de profundidad fue conducida siguiendo el enfoque adoptado en las implementaciones de los últimos dos años, de acuerdo con las cuales se estudiaron dos casos soportados en sendos modelos conceptuales: En el Caso 1, las poblaciones de bacalao del Pacífico y Atlántico se consideran parte de un único stock donde el reclutamiento depende de la biomasa desovante combinada de ambos océanos. En el Caso 2, se asume que el bacalao de profundidad distribuido en el Pacífico sur oriental conforma una población cerrada con respecto a los desovantes y el reclutamiento, y de este modo puede ser evaluada sin considerar las capturas del Atlántico.

De acuerdo con los anterior, las evaluaciones conducidas en cada caso incluyeron los nuevos datos de la actividad pesquera chilena correspondientes al año 2017 y nuevos datos de las pesquerías argentinas, incluyendo las composiciones de tamaño para las pesquerías de palangre (años 2015 y 2016) y arrastre (años 2015 a 2017), además de las capturas.

En un modo consistente con los resultados de las evaluaciones previas de este recurso, la biomasa desovante estimada experimentó un continuo descenso desde el inicio de la pesquería hasta el año 2017, con una rápida reducción de la biomasa entre los años 1991 y 1996, período en donde la mortalidad por pesca alcanzó un valor máximo como resultado de máximos históricos en los desembarques artesanales y el inicio de las operaciones industriales en Chile y Argentina. En contraste la reducción en biomasa en los últimos 6 años ha sido mínima, con una tasa de $-0,6$ toneladas año⁻¹ en el Caso 1, e incluso con un leve incremento de $0,4$ toneladas año⁻¹ en el Caso 2.

La reducción de la biomasa desovante a través de los años incluidos en la evaluación es la causante de una lenta y progresiva reducción en el reclutamiento medio a través de igual período de tiempo. Luego de un período de fuertes desvíos negativos del reclutamiento entre los años 2001 a 2014, los desvíos de los últimos tres años se aproximan gradualmente a cero o se hacen positivos. Esto último, estaría asociado a un incremento de la importancia relativa de individuos más jóvenes en las capturas chilenas a partir del año 2011, particularmente en la pesquería artesanal y en el ingreso de individuos más jóvenes a la pesquería que caracterizó las capturas de la pesca de arrastre argentina en los últimos tres años (en el Caso 1).

Las biomasa desovantes estimadas para el año 2017 correspondieron a 47.722 toneladas en el Caso 1 y 28.565 toneladas en el Caso 2.



4.2 OBJETIVO 2: Establecer el estatus actualizado del recurso

4.2.1 Puntos biológicos de referencia

Los valores estimados para los puntos biológicos de referencia sustitutos del RMS en cada caso de evaluación de stock se presentan en la **Tabla 17** y **Figura 41**.

Tabla 17

Valores sustitutos de los puntos biológicos de referencia del Rendimiento Máximo Sostenido (RMS) estimados para el bacalao de profundidad en los casos 1 y 2 de la evaluación de stock.

	F_{RMS}			B_{RMS}		
	25%	50%	75%	25%	50%	75%
Caso 1	0,060	0,062	0,064	93,364	98,011	102,733
Caso 2	0,065	0,069	0,072	54,600	60,969	67,169

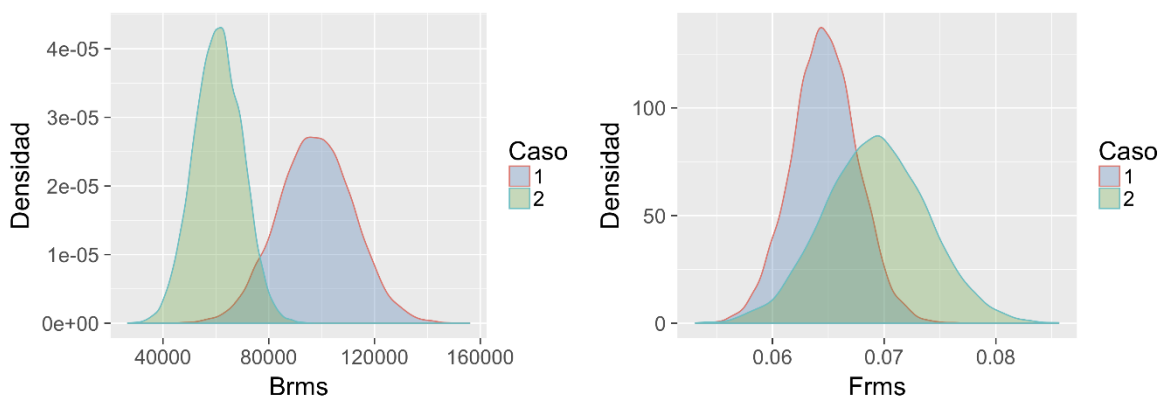


Figura 41. Distribuciones de probabilidad de los puntos biológicos de referencia sustitutos del rendimiento máximo sostenible estimados para los dos casos estudiados en la evaluación.

4.2.2 Evaluación del estatus basado en la biomasa desovante.

El índice de reducción del potencial desovante mostró que entre los años 1978 y 1991 el recurso se encontraba entre un 81% a 84% de su potencial reproductivo máximo, si consideramos el Caso 1, o entre un 68% y 82% si consideramos el Caso 2 (**Figura 42**). En 1992 el potencial desovante del stock de bacalao de profundidad se encontraba entre un 60% y 74% de su potencial reproductivo máximo (dependiendo del caso considerado) sin embargo, en los años siguientes y coincidiendo con un importante desarrollo de la actividad pesquera en la plataforma Pacífica y Patagónica, el potencial desovante se redujo rápidamente alcanzando un 25% en el año 2002-03 (dependiendo del caso considerado). Durante esta caída, el recurso transitó rápidamente por el objetivo de manejo de 40% de la biomasa desovante virginal, primero en el Caso 2 donde este punto fue alcanzado en el año 1994 y luego en el Caso 1, donde el stock alcanzó este nivel en el año 1997 (**Figura 42**).

En el Caso 1, entre los años 2003 y 2017 el potencial reproductivo del bacalao de profundidad osciló en torno a un 21% de su potencial máximo, encontrándose en un valor de 19% en el año 2017. Durante estos mismos años, en el Caso 2 el potencial reproductivo se mantuvo en torno a un 20% del máximo reproductivo, pero se encontró por debajo de este nivel entre los años 2010 y 2017 en donde osciló en torno a un valor medio de 18% (**Figura 42**).

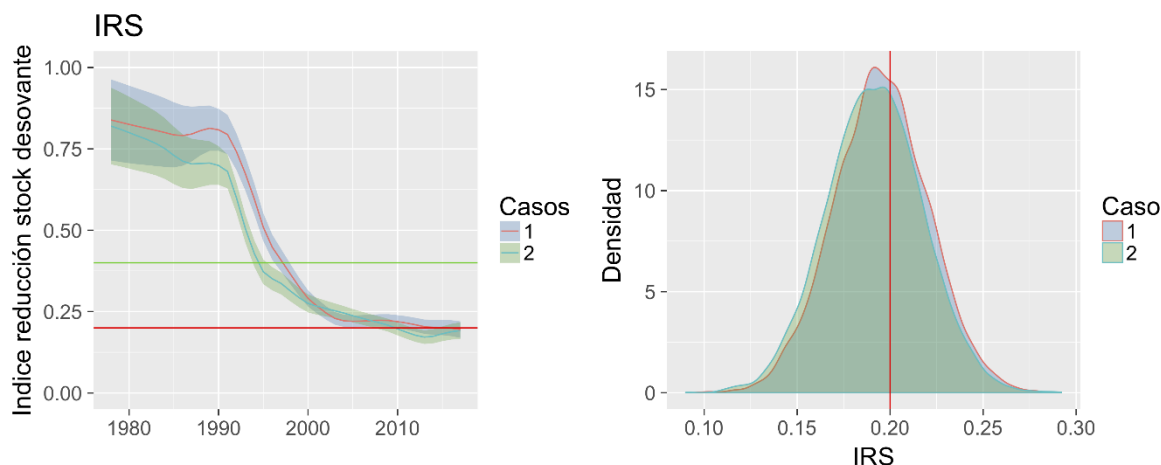


Figura 42. Panel izquierdo: Fluctuaciones del índice de reducción del stock desovante (IRS) de bacalao de profundidad estimado para los dos casos estudiados en la evaluación de stock. Se incluye la banda de confianza de 95%; Panel derecho: distribuciones de probabilidades del IRS en el año 2017 en los dos casos analizados. En ambos gráficos se indica el límite que define la zona de colapso (línea roja: $0,2B_0$). En el panel izquierdo se indica además el nivel de reducción objetivo (línea verde: $0,4B_0$).

4.2.3 Marco biológico de referencia

Los resultados de la evaluación, incluyendo los puntos biológicos de referencia, permiten representar la trayectoria del stock en un diagrama de fase o marco biológico de referencia (**Figura 43**). En este diagrama se puede observar que entre los años 1978 y 1991 el stock se mantuvo sub-explotado. En los años siguientes, la mortalidad por pesca se incrementó por sobre aquella que produce el RMS (F_{RMS}) y como consecuencia de este sostenido nivel de explotación en 1995/1997 (dependiendo del caso estudiado) el stock entró en la zona de sobre-explotación (**Figura 43**). La mortalidad por pesca se mantuvo por sobre el valor de F_{RMS} durante prácticamente toda la historia de explotación industrial del stock y consecuentemente, la biomasa desovante continuó reduciéndose de tal modo que, de acuerdo con el Caso 2, en el año 2010 la pesquería ingresó a la región de agotamiento donde se mantuvo hasta el presente o según el Caso 1 alcanzó esta región en el año 2017 (**Figura 43**).

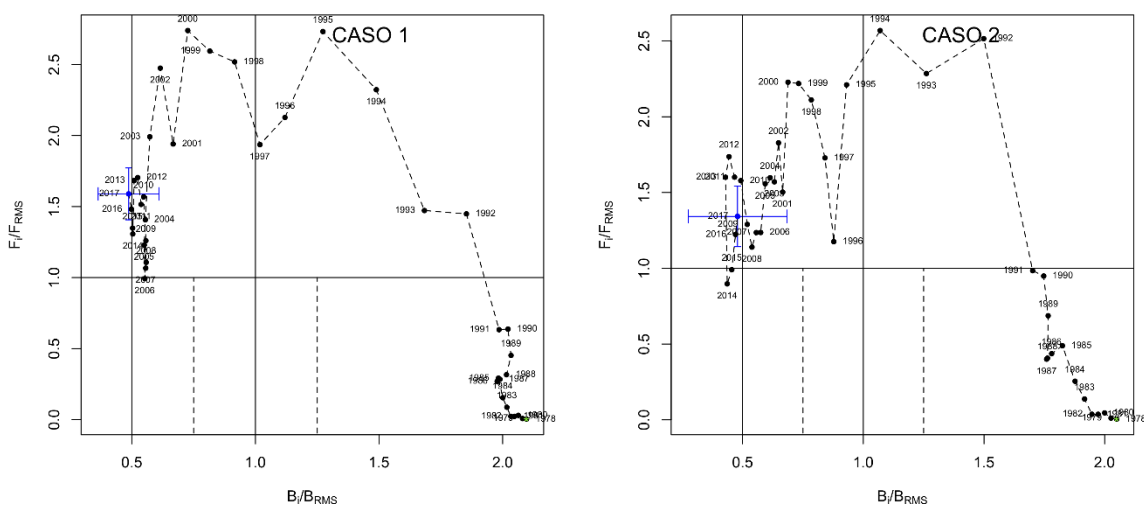


Figura 43. MBR mostrando la trayectoria del stock de bacalao de profundidad entre los años 1978 y 2017 para los dos casos de evaluación de stock. CASO 1: modelo que incluye las pesquerías de la ZEE de Chile y Argentina; CASO 2: modelo que incluye sólo las pesquerías chilenas. La situación del stock en el año 2017 se destaca en azul.



4.2.4 Resumen del estatus del stock de bacalao de profundidad

En el marco de los dos casos de evaluación de stock analizados usando el modelo AMAK (y que se han mantenido por espacio de tres años) y que incluyeron nuevos datos del año 2017 para las pesquerías chilenas y nuevos datos de composición de tamaños para las capturas argentinas (años 2015 a 2016 para la pesca con palangre y 2015 a 2017 para la pesca de arrastre), se determinó el estatus actualizado del recurso bacalao de profundidad.

Para este fin se calculó el índice de reducción del stock (usando la biomasa desovante virginal como nivel de referencia), lo que permitió establecer que el potencial desovante de este recurso se redujo rápidamente entre los años 1992 y 2002 y que el objetivo de manejo de 40% de reducción de este potencial fue alcanzado en los años 1994 (Caso 2) o 1997 (Caso 1). Este indicador también permitió establecer que en el presente el stock se encuentra reducido a un 18-19% de su potencial máximo, dependiendo del caso que se considere.

La representación del stock en su MBR permitió establecer también que una vez iniciada la explotación del recurso este se mantuvo en la región de subexplotación por espacio de 14 años. Coincidiendo con la serie de años con mayor desembarque artesanal y con el inicio de las operaciones industriales en los océanos Pacífico y Atlántico, la mortalidad por pesca rápidamente superó el nivel de F_{RMS} lo que llevó a la pesquería primero a la región de sobreexplotación entre los años 1995 y 2009 (o 2015, si se considera el Caso 1) y luego a la región de agotamiento (en el año 2010, según el Caso 2 o 2016 según el Caso 1) donde se mantuvo hasta el presente. De este modo el recurso continúa actualmente en una situación de agotamiento y en proceso de sobrepesca.

4.2.5 Estado de situación de la pesquería de bacalao de profundidad

Con base en los resultados de la evaluación de stock actualizada, se observa que en el año 2017 el stock de bacalao de profundidad se encuentra en un 19% de su potencial desovante máximo con una biomasa desovante inferior al punto biológico de referencia límite de $0,5 * B_{RMS}$ definido por el CCT-RDAP. De acuerdo con estos resultados, el estado de situación de la pesquería de bacalao de profundidad es de agotada o colapsada.



4.3 **OBJETIVO 3: Análisis de la Captura Biológicamente Aceptable**

Se realizaron proyecciones de la población en un horizonte de 50 años (i.e. un período generacional), empleando la selectividad y el número de individuos por grupo de edad estimados para el año 2018. Estos últimos fueron obtenidos asumiendo una captura igual a las cuotas establecidas para el año 2018 en la pesca industrial y artesanal chilena (Dto. Excento 671/2017 SUBPESCA) y en las pesquerías argentinas (Resoluciones N° 8 y 15/2017 Consejo Federal Pesquero). La cuota de captura argentina no es establecida por flota, consecuentemente esta fue asignada proporcionalmente según las cifras del desembarque producido por las flotas de palangre y arrastre en el año 2017.

Bajo estas condiciones se evaluó una estrategia de explotación de mortalidad por pesca constante igual a F_{RMS} y cuatro estrategias alternativas, con mortalidades por pesca constantes e iguales a un 75%, 50%, 25% y 0% de F_{RMS} .

En aquellos años para los cuales se cuenta con una estimación de descarte, estos fueron incorporados en la determinación de la CBA incrementando la captura observada de acuerdo con el factor correspondiente al porcentaje descartado y reduciendo la CBA estimada según el mismo factor.

Las estimaciones de los descartes fueron obtenidas del Programa de Investigación del Descarte y Captura de Pesca Incidental (San Martín et al. 2016) y correspondieron a los porcentajes siguientes: 7,88% en el año 2015 y 1,77% para el año 2016. A la fecha de emisión de este informe, la estimación del descarte correspondiente al año 2017 no se encontraba disponible.

Para el análisis del desempeño de las estrategias se calcularon los siguientes indicadores: la reducción de la biomasa desovante en el año 50 de la proyección respecto de la biomasa presente en el año 2018 (B_{2018}), la reducción de la biomasa desovante al final de la proyección respecto de la biomasa que produce el rendimiento máximo sostenible (B_{RMS}), la probabilidad que la biomasa desovante al final de la proyección sea inferior a B_{2018} , la probabilidad que la biomasa desovante al final de la proyección sea inferior a B_{RMS} y la probabilidad de que la biomasa al final de la proyección sea inferior a la biomasa límite ($0,5 * B_{RMS}$). Los tiempos de recuperación del stock (años que requiere la población para alcanzar el estado de plena explotación) también se reportan para cada caso y estrategia evaluada.



Los análisis fueron realizados en el contexto de los dos casos estudiados en la evaluación de stock y de acuerdo con tres escenarios de descartes, D_0 : Descarte igual a cero; D_1 : descarte igual 7,55% en el año 2015 y 1,77% en los años 2016 a 2018; D_2 : descarte igual a 1,77% en todos los años.

Los escenarios de descartes fueron establecidos de acuerdo con lo discutido en la sesión del CCT-RDAP del 26 de junio de 2018, en donde hubo consenso en que las correcciones debieran ser aplicadas a las capturas de la pesca industrial chilena solamente (i.e. en la flota en donde las estimaciones fueron originadas).

4.3.1 Caso 1: flotas artesanal e industrial chilenas y palangre y arrastre argentino.

La implementación de una estrategia F_{RMS} implicaría una CBA igual a 4.271 toneladas, a ser dististribuidas entre las cuatro flotas pesqueras. Esta estrategia permitiría incrementar el tamaño del stock en un 70% en cincuenta años y de este modo se alcanzaría un 80% del objetivo de manejo con una probabilidad mínima de reducir la biomasa por debajo de la presente o de permanecer en la región de agotamiento (**Tabla 18; Figura 44**).

La implementación de una mortalidad por pesca 25% menor a F_{RMS} permitiría duplicar el tamaño del stock en el horizonte de proyección y alcanzar el objetivo de manejo en 38 años. La probabilidad de reducir la biomasa presente con esta estrategia es mínima con una buena probabilidad de que el recurso pueda abandonar la región de agotamiento (**Tabla 18; Figura 44**).

La extracción de capturas en el rango 0 a 2.170 toneladas permitiría un notable incremento en el tamaño del stock, permitiendo a este alcanzar la región de plena explotación en un mínimo de 10 años y en un máximo de 20. El riesgo de reducir la biomasa por debajo de la presente o de que el el stock permanezca en la región de colapso bajo estas condiciones es mínimo.

Dado los bajos porcentajes de descarte estimados para la pesca industrial, su incorporación en el análisis de posibilidades de explotación no tuvo un gran impacto en los rangos de CBA calculados (**Tabla 19**). Con las diferencias entre los valores de CBA calculados con una situación sin descartes y aquellos calculados en los escenarios D_1 y D_2 distribuidas en un rango de 6 (estrategia F_{RMS}) a 1 toneladas (estrategia $0,25F_{RMS}$).



Tabla 18.

Análisis de cinco estrategias de explotación de mortalidad por pesca constante. En la última línea se incluyen los años que le toma al stock llegar al estado de plena explotación. F_{RMS} es la mortalidad por pesca sustituto del rendimiento máximo sostenible. Caso 1, sin considerar descartes.

	F_{RMS}	$0,75 * F$	$0,5 * F$	$0,25 * F$	$0,0 * F$
Capturas 2019	4.271	3.229	2.170	1.094	0
BD_{2068}/BD_{2018}	1,7	2.2	2.9	3.8	5
BD_{2068}/BD_{RMS}	0.8	1,1	1,4	1,8	2,3
$P(BD_{2068} < BD_{2018})$	0,1	0	0	0	0
$P(BD_{2068} < BD_{RMS})$	0.8	0,4	0,1	0	0
$P(BD_{2068} < 0.5 * BD_{RMS})$	0.1	0	0	0	0
Tiempo a $0,75 BD_{RMS}$	>50	38	20	13	10

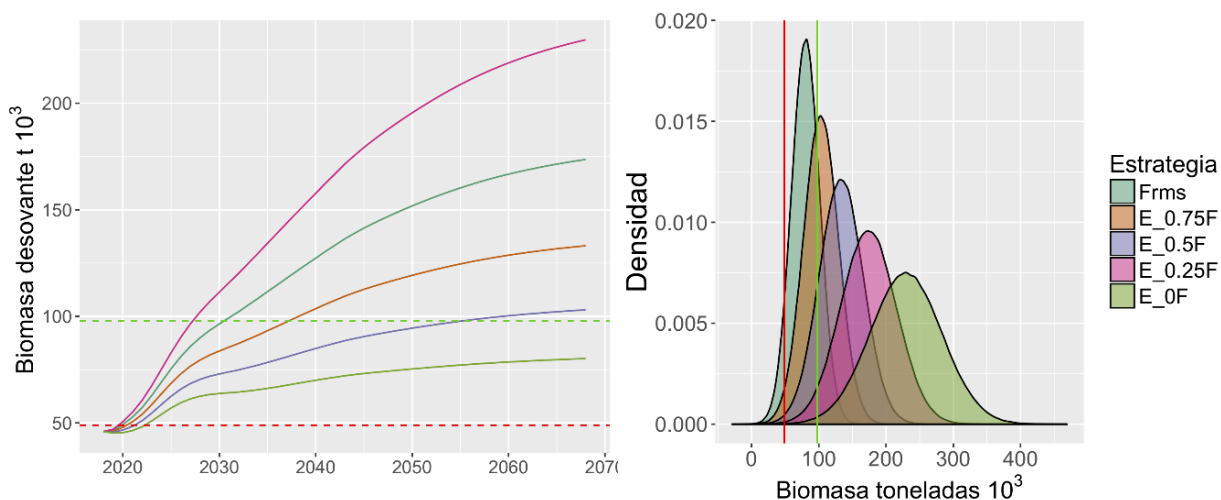


Figura 44. Panel izquierdo: biomasa desovante de bacalao de profundidad proyectada en un horizonte de 50 años bajo cinco estrategias de mortalidad por pesca constante. Las líneas segmentadas roja y verde señalan la biomasa límite ($0,5B_{RMS}$) y objetivo (B_{RMS}), respectivamente; Panel derecho: distribución de probabilidades de la biomasa desovante en el último año de la proyección. Las líneas verticales roja y verde indican la posición de la biomasa límite y objetivo, respectivamente. Caso 1, sin considerar descartes.

**Tabla 19.**

Captura biológicamente aceptable de acuerdo con 5 estrategias de explotación y dos criterios de inclusión de los descartes industriales. Caso 1.

Capturas 2019	F_{RMS}	$0,75 * F$	$0,5 * F$	$0,25 * F$	$0,0 * F$
D ₁	4.265	3.225	2.168	1.093	0
D ₂	4.266	3.226	2.168	1.093	0

4.3.2 Caso 2: flotas artesanal e industrial chilenas.

Implementar una estrategia F_{RMS} , en el contexto del Caso 2, significa fijar una CBA igual a 2.555 toneladas. Este nivel de mortalidad haría posible un incremento de un 70% en el tamaño del stock en cincuenta años, permitiéndolo alcanzar un 80% del objetivo de manejo. Con esta estrategia, la probabilidad de reducir la biomasa por debajo de la presente es mínima, como también lo es la probabilidad de permanecer en una condición de agotamiento (**Tabla 20; Figura 45**).

La implementación de una estrategia igual a $0,75F_{RMS}$ implicaría extraer una captura de 1.933 toneladas, lo que significaría alcanzar el objetivo de manejo en 39 años, sin embargo, la probabilidad de que el stock aún se encuentre por debajo de este nivel en el horizonte de proyección es de un 40% (**Tabla 20; Figura 45**).

Valores de CBA en el rango 0 a 1.300 toneladas permitirían un significativo incremento del tamaño del stock, con un mínimo riesgo de continuar reduciendo la biomasa o de mantener el stock en la región de agotamiento.

Dado su bajo valor, la incorporación en el cálculo de la CBA de los descartes estimados para la pesca industrial, no tuvo un impacto notable en el rango de posibilidades de explotación (**Tabla 21**). De este modo, las diferencias entre los valores de CBA calculados bajo los escenarios D₁ y D₂ respecto de la situación sin descartes se encontraron en un rango de 5 (estrategia F_{RMS}) a 2 toneladas (estrategias $0,5F_{RMS}$ y $0,25F_{RMS}$).



Tabla 20.

Análisis de cinco estrategias de explotación de mortalidad por pesca constante. En la última línea se incluyen los años que le toma al stock llegar al estado de plena explotación. F_{RMS} es la mortalidad por pesca sustituto del rendimiento máximo sostenible. Caso 2, sin considerar descartes.

	F_{RMS}	$0,75 * F$	$0,5 * F$	$0,25 * F$	$0,0 * F$
Capturas 2019	2.555	1.933	1.300	657	0
BD_{2068}/BD_{2018}	1,7	2,2	2,9	3,8	5
BD_{2068}/BD_{RMS}	0,8	1,1	1,3	1,8	2,3
$P(BD_{2068} < BD_{2018})$	0,1	0	0	0	0
$P(BD_{2068} < BD_{RMS})$	0,8	0,4	0,2	0	0
$P(BD_{2068} < 0,5 * BD_{RMS})$	0,1	0	0	0	0
Tiempo a $0,75 BD_{RMS}$	>50	39	20	13	10

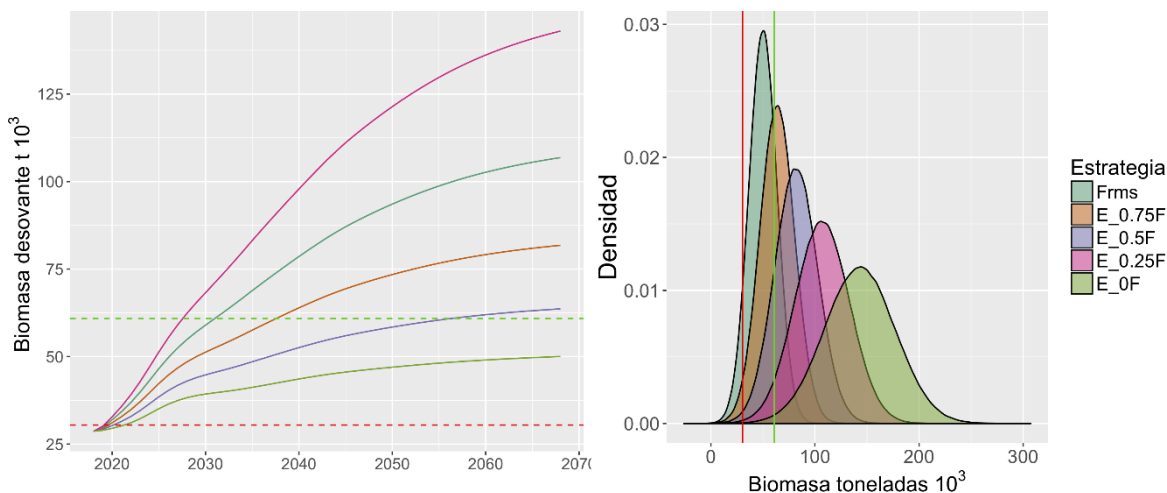


Figura 45. Panel izquierdo: biomasa desovante de bacalao de profundidad proyectada en un horizonte de 50 años bajo cinco estrategias de mortalidad por pesca constante. Las líneas segmentadas roja y verde señalan la biomasa límite ($0,5B_{RMS}$) y objetivo (B_{RMS}), respectivamente; Panel derecho: distribución de probabilidades de la biomasa desovante en el último año de la proyección. Las líneas verticales roja y verde indican la posición de la biomasa límite y objetivo, respectivamente. Caso 2, sin considerar descartes.

**Tabla 21.**

Captura biológicamente aceptable de acuerdo con 5 estrategias de explotación y dos criterios de inclusión de los descartes industriales. Caso 2.

Capturas 2019	F_{RMS}	$0,75 * F$	$0,5 * F$	$0,25 * F$	$0,0 * F$
D ₁	2.550	1.929	1.298	655	0
D ₂	2.551	1.930	1.298	655	0

4.1 **OBJETIVO 4: Programa de Mejoramiento Continuo.**

En los últimos informes del proyecto (Tascheri 2018a, 2018b) se ha indicado que la principal guía para hacer efectivo el mejoramiento continuo del proyecto de estatus y posibilidades de explotación de bacalao de profundidad son las observaciones y recomendaciones de la revisión de pares realizada al proyecto en el año 2014 (Polacheck 2015).

En el informe consolidado del proyecto 2017 (Tascheri 2018a) se incluye también el detalle de los cambios técnicos hechos en esta evaluación desde el año 2014 y que resultan en la actual metodología empleada en este estudio. De acuerdo con esto, es la opinión del autor que la actual implementación de esta evaluación responde a todas las observaciones fundamentales realizadas en la referida revisión.

Esto, sin embargo, puede ser un punto debatible principalmente porque como se indica en Tascheri (2018a) el número y prioridad de las observaciones realizadas en Polacheck (2015) es difícil de precisar, quedando más bien éstas a criterio del lector. De este modo, el CCT-RDAP debe hacer su propia lectura del informe de Polacheck y arribar a una conclusión.

Mientras esto se desarrolla, el autor quiere aprovechar esta sección del informe para expresar su perspectiva de cuál es la dirección que el mejoramiento continuo de esta evaluación debería seguir.

Sin perjuicio que desarrollos técnicos tales como: la implementación de la evaluación en alguna otra plataforma de uso extendido en esta área de investigación, tales como Stock Synthesis (SS; Methot y Wetzel 2013) o C++ Algorithmic Stock Assessment Laboratory (CASAL; Bull et al. 2012) o la investigación de aspectos técnicos específicos de la evaluación (e.g. explorar aspectos espaciales en la modelación) serían posibles cursos de acción para el mejoramiento de esta evaluación, esto se dificulta por la ausencia de una perspectiva/dirección clara por parte del CCT-RDAP.

A juzgar por las recientes deliberaciones en el seno del CCT-RDAP, en el presente aún existe una falta de consenso respecto de cuál es el modelo conceptual más probable para este recurso. Esto no



es algo menor en este contexto, dado que la adopción de una visión conceptual consensuada para este stock, sería un importante paso adelante para establecer con mayor decisión cuáles son los desarrollos técnicos más pertinentes para soportar la administración de este recurso.

Es también la opinión del autor, que los avances más importantes en cuanto al mejoramiento técnico de esta evaluación no se encuentran completamente dentro del campo de acción de este proyecto.

Por ejemplo, si bien no es plenamente compartido en el CCT-RDAP, existe evidencia suficiente para sugerir que el modelo conceptual más probable es aquel que se ha denominado Caso 1 en esta evaluación (el reclutamiento en las plataformas Pacífica y Patagónica depende de la biomasa desovante combinada de ambos océanos). Entonces dado que este caso se viene analizando en la evaluación desde el año 2014, un curso de acción importante para mejorarla es trazar una ruta clara dirigida a materializar una evaluación conjunta con Argentina en el marco de un sólo proyecto cooperativo de evaluación de stock.

IFOP ha dado ya pasos en esta dirección a través del Convenio Marco que formaliza las relaciones de cooperación técnica con el INIDEP, que entre otros puntos incluye el establecimiento de grupos técnicos conjuntos.

Otra línea clara de mejoramiento de la evaluación es el establecimiento de un programa de largo plazo para el estudio de orcas (*Orcinus orca*) y su interacción con la pesca, que es fundamental para entender las consecuencias económicas y demográficas del comportamiento de depredación sobre el bacalao de profundidad (Guinet et al. 2015, Söffker et al 2015). Esto es algo que los usuarios de la pesquería industrial entienden muy bien, quienes en el año 2016 organizaron un taller internacional sobre el tema y actualmente se encuentran participando en una investigación acerca de la depredación⁹. Sin embargo, no existe un proyecto de estudio del tema que se haya incluido en el programa básico y permanente de investigación o considerado por el consejo de investigación pesquera.

Recientemente, el comité de manejo de esta pesquería ha manifestado su intención de realizar un estudio piloto con el objeto de implementar un crucero de evaluación directa usando la pesca con palangre/cachalotera. Esto motiva a discutir las prioridades de investigación, dado que un proyecto de esa naturaleza no podrá evadir enfrentar el problema de interacción con los mamíferos marinos (Peterson et al. 2013) un tema fundamental a investigar si se quiere mejorar los índices de abundancia relativa necesarios para establecer el estatus de este recurso.

Con estos planteamientos, no se ha buscado distraer la atención hacia otros aspectos técnicos que no recaen exclusivamente en el desarrollo de este proyecto, sino más bien llamar la atención hacia el hecho de que las mejoras más sustanciales en esta evaluación de stock descansan en el desarrollo y avance de las investigaciones señaladas más arriba.

⁹ <http://www.colto.org/toothfish-collaboration/2016-chile-workshop/>. <http://que.aobac.cl/>



5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este informe se reporta la evaluación del stock de bacalao de profundidad del año 2018, la que fue conducida en el contexto de dos casos que corresponden a modelos conceptuales diferentes: en el Caso 1, se asume que las poblaciones de bacalao del Pacífico y Atlántico son parte de un único stock donde el reclutamiento depende de la biomasa desovante combinada de ambos océanos. En el Caso 2, se asume que el bacalao de profundidad distribuido en el Pacífico sur oriental conforma una población cerrada con respecto a los desovantes y el reclutamiento. Este enfoque de evaluación de stock es el mismo seguido en las últimas dos evaluaciones de este recurso (Tascheri 2017, Tascheri 2018a).

Además de incluir los nuevos datos de la actividad pesquera chilena del año 2017, esta implementación de la evaluación hizo uso de nuevos datos de las pesquerías argentinas, incluyendo las composiciones de tamaño de las capturas de palangre de los años 2015 a 2016 y de las capturas de arrastre de los años 2015 a 2017, además de las capturas actualizadas al año 2017. El uso de estos datos es significativo, lo que se discute a continuación.

En años recientes, se ha notado una mayor concentración de las capturas chilenas en individuos más jóvenes. Si bien esto es una característica de la pesquería, particularmente de las capturas artesanales, a partir del año 2011 en el sector artesanal y a partir del año 2013 en el sector industrial los datos de composición de edades de las capturas muestran una mayor importancia relativa de los grupos de edad VII a VIII (Céspedes et. al. 2017). Sin embargo, una situación particularmente notable es la observada en la composición de tamaños de las capturas argentinas de arrastre de los años 2015 a 2017, donde claramente se puede distinguir una moda de individuos menores de 75 cm LT (i.e. grupos de edad VII y VIII).

Estas características de los datos de composición de edades/tamaños de las capturas, determinan la forma de la selectividad, la que a su vez tiene un importante efecto sobre las cantidades estimadas por el modelo que son relevantes para la evaluación de los puntos biológicos de referencia, el estado de situación de la pesquería y consecuentemente, para las recomendaciones de manejo (Crone et al. 2014).

Entre los factores importantes que afectan la selectividad, se encuentran la selección específica de cada arte/aparejo de pesca, los niveles relativos de esfuerzo ejercidos con cada uno de estos métodos de pesca, la distribución espacial de la mortalidad por pesca y el movimiento de los peces entre subpoblaciones (Sampson y Scott 2011).



En la pesca de bacalao de profundidad del cono sur, el recurso muestra un alto grado de estructuración espacial (Collins et al. 2010). La pesquería chilena evidencia esto en las diferencias latitudinales observadas en la composición de tamaños de las capturas, tanto artesanales como industriales, como también en las diferencias entre las composiciones de tamaños de las capturas desembarcadas por estas dos flotas (Céspedes et al. 2017; **Figura 10**). Desde el punto de vista de la distribución de la mortalidad por pesca por edades, la situación se hizo más compleja aún con la introducción de la cachalotera en la pesquería chilena en el año 2006 (Rubilar *et al.* 2010).

En la pesca argentina, históricamente la diferente profundidad de operación de las flotas de arrastre y palangre se combinaban con la estructuración espacial del recurso, para producir capturas con composiciones de tamaños muy diferentes (Figura 11; Wöhler et al. 2001).

Efectivamente las capturas de bacalao de profundidad en la plataforma Patagónica, inicialmente, correspondieron a fauna acompañante de la pesquería de arrastre. Sin embargo, a partir del año 2000 y como consecuencia de una serie de medidas promovidas por INIDEP para proteger el recurso, tales como profundidades mínimas de operación y un área de protección de juveniles, en combinación con los mayores rendimientos de bacalao obtenidos con la pesca de arrastre, han significado una notable reducción del esfuerzo de la pesca con palangre, un simultáneo y significativo incremento del esfuerzo en la pesca de arrastre y un cambio en la distribución espacial de la mortalidad por pesca.

En particular, la Resolución SAGPyA N°48/1999, desplazó a la flota de congeladores arrastreros argentinos al sur de la latitud 48° S y como consecuencia, también a los barcos palangreros, los que modificaron su área de operación para reducir la interacción entre los dos métodos de pesca. A partir del año 2007, el número de barcos palangreros convencionales aún en operación se redujo a un mínimo y entre los años 2009 y 2015, la operación de palangre fue continuada por algunos buques empleando la cachalotera como método de pesca. En la actualidad, la operación de pesca argentina es desarrollada casi exclusivamente por buques arrastreros, los que concentran su captura en un área muy reducida, la que se ha constituido en el principal caladero de bacalao en el Área de Protección de Juveniles de la ZEE Argentina, con altos valores de rendimiento (Martínez *et al.* 2016).

Situaciones de este tipo, han determinado que la actual dirección técnica en el uso de la selectividad en evaluaciones de stock, sea hacia la adopción del uso de una selectividad variable en el tiempo y de formas de selectividad no paramétricas (Crone et al. 2014).



Lo anterior justifica entonces completamente el cambio al modelo AMAK (<https://github.com/NMFS-toolbox/AMAK>) como plataforma para implementar esta evaluación de stock (Tascheri y Canales 2016). La adopción del uso de formas de selectividad más flexibles en esta evaluación ha permitido capturar formas más complejas de la selectividad agregada que emergen a causa de los patrones espaciales de la pesca (Thorson y Taylor 2014).

De acuerdo con lo anterior, las diferencias observables en los niveles de biomasa desovante estimados con respecto de la última evaluación de stock (Tascheri 2018a), serían principalmente consecuencia de los cambios en la forma de la selectividad agregada, como resultado de la inclusión de las composiciones de tamaños de las capturas de arrastre argentinas de los años 2015 a 2016. Esta característica de los datos de entrada de la presente evaluación es también el origen de la estimación de desvíos positivos de los reclutamientos o cercanos a cero para los años más recientes.

En el contexto de las principales fuentes de incertidumbre en esta evaluación, aún se debe insistir en el escaso conocimiento disponible acerca de la dinámica de la depredación de la pesca por mamíferos marinos, en especial orcas (*Orcinus orca*), lo que necesariamente requiere de un estudio de largo plazo para poder entender las consecuencia económicas y demográficas de la depredación del bacalao de profundidad por estos mamíferos (Guinet *et al.* 2015).

Considerando que las tasas de captura de bacalao de profundidad varían significativamente dependiendo de la presencia o ausencia de mamíferos marinos en el área de pesca (Peterson *et al.* 2013) y que los grupos de orcas que adoptan la depredación de la pesca como forma de subsistencia son capaces de pasar este comportamiento a los individuos más jóvenes (Söffker *et al.* 2015), en ausencia de nuevos antecedentes respecto de este tipo de interacciones, la posibilidad de que la disminución en el tiempo de la captura por unidad de esfuerzo estándar se deba a una tendencia al incremento de este comportamiento de depredación no puede ser descartada.



6. CONCLUSIONES

- Las tendencias informadas de la biomasa estimada bajo los dos casos estudiados en la evaluación de stock son consistentes con los resultados de las evaluaciones previas de este recurso.
- Las tendencias estimadas de la biomasa resultan del incremento en la mortalidad por pesca que varió en torno al valor de la mortalidad natural entre los 1994 y 2003. Estos valores máximos de mortalidad por pesca coinciden con el desarrollo inicial de las pesquerías industriales en Chile y Argentina y con los máximos históricos de la actividad de pesca artesanal.
- Como consecuencia de este incremento en la mortalidad por pesca, la biomasa desovante experimentó una rápida reducción entre los años 1991 y 2004, la que continuó en los años siguientes, pero a una tasa menor.
- La continua reducción en el tiempo de la biomasa desovante, es consistente con las estimaciones del reclutamiento, el que exhibe una reducción continua entre los años 1995 y 2017.
- El potencial desovante de este recurso se redujo rápidamente entre los años 1992 y 2002, transitando rápidamente por el objetivo de manejo de 40% de reducción de este potencial en los años 1994 (Caso 2) o 1997 (Caso 1). En el presente, el stock se encuentra reducido a un 18-19% de su potencial máximo.
- Coincidiendo con la serie de años con mayor desembarque artesanal y con el inicio de las operaciones industriales en los océanos Pacífico y Atlántico, la mortalidad por pesca rápidamente superó el nivel de F_{RMS} lo que llevó a la pesquería primero a la región de sobreexplotación en el año 1995 y luego a la región de agotamiento (en los años 2010-16, según el caso), donde se mantuvo hasta el presente.
- Actualmente la pesquería se encuentra en una situación de agotamiento y en proceso de sobrepesca.



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abe, T. and Iwami, T. 1989. Notes on fishes from the stomachs of whales taken in the Antarctic II. On *Dissostichus* and *Ceratius*, with an appendix (Japanese names of important Antarctic fishes). Proc. NIPR Symp. Polar Biol. 2, 78–82.
- Abellan, L. J. L. 2005. Patagonian toothfish in international waters of the southwest Indian Ocean (Statistical Area 51). CCAMLR Sci. 12, 207–214.
- Agnew, D., Heaps, L., Jones, C., Watson, A., Berkiet, K., and Pearce, J. 1999. Depth distribution and spawning pattern of *Dissostichus eleginoides* at South Georgia. CCAMLR Sci. 6, 19–36.
- Agnew, D. J. 2004. Fishing South: History and Management of South Georgia Fisheries. The Penna Press, St Albans, 128pp.
- Aguayo, M., I. Paya, C. Vera, V. Ojeda, I. Céspedes y J. Donoso. 1991. Diagnóstico de las principales pesquerías nacionales 1990. Pesquerías demersales “Peces” zona sur austral. Estado de situación y perspectivas del recurso. CORFO-IFOP. 83 p.
- Aguayo, M., y Cid, L. 1991. Recopilación, proceso y análisis de los antecedentes biológico-pesqueros en la pesca exploratoria de bacalao de profundidad realizada por el B/P /Friosur VI/. Instituto Fomento Pesquero, Chile. Informe Interno, 63 pp.
- Aguayo, M. 1992. Preliminary analysis of growth of *Dissostichus eleginoides* from the Austral zone of Chile and South Georgia. CCAMLR Document WG-FSA 92/30: 1-8.
- Aramayo, V. 2016. Breve síntesis sobre el recurso bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* en Perú. Revista de Biología Marina y Oceanografía 51(2): 229-239
- Arana P, M Arredondo y V Venturini. 1994. Pesca del bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*), efectuada por la flota chilena en torno a la isla Georgia del Sur (1991/1992). Investigaciones Marinas, Valparaíso 22:67-84.
- Arana, P. M., and Vega, R. 1999. Exploratory fishing for *Dissostichus* spp in the Antarctic region (sub-Areas 48.1, 48.2 and 88.3). CCAMLR Sci. 6, 1–17.
- Arana, P. 2009. Reproductive aspects of the Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) off southern Chile. Latin Am. J. Aqua. Res. 37, 381–394.



- Arkhipkin, A., Brickle, P., and Laptikhovsky, V. 2003. Variation in the diet of the Patagonian toothfish with size, depth and season around the Falkland Islands. *J. Fish Biol.* 63, 428–441.
- Ashford, J. R., Rubilar, P. S., and Martin, A. R. 1996. Interactions between cetaceans and longline fishery operations around South Georgia. *Mar. Mamm. Sci.* 12, 452–457.
- Ashford, J. R., S. Wischniowski, C. Jones, S. Bobko and I. Everson. 2001. A comparison between otoliths and scales for use in estimating the age of *Dissostichus eleginoides* from South Georgia. *CCAMLR Sci.* 8, 75–92.
- Ashford, J., Duhamel, G., Jones, C., and Bobko, S. 2005. Age, growth and mortality of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) caught off Kerguelen. *CCAMLR Sci.* 12, 9–41.
- Australian Antarctic Division 2001. A history of the Patagonian toothfish fishery. *Australian Antarctic Magazine.* Australia Department of Environment and Energy. 46-47.
- Balbontín, F., P. Troncoso y E. López. Análisis de la condición reproductiva del bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* de la zona austral de Chile, entre enero y diciembre de 2011. En: Rubilar, P. y A. Zuleta. 2011. Pesca de Investigación bacalao 2010. Bases para un programa colaborativo de monitoreo científico en la pesquería del bacalao. Centro de Estudios Pesqueros S.A. 81 p.
- Baranov FI. 1918. K voprosu o biologicheskikh osnovaniyakh rybnogo khozyaistva. [On the question of the biological basis of fisheries.] *Nauchn. Issled. Ikhtologicheskii Inst. Izv.* 1: 81-128.
- Belchier, M., and Collins, M. A. 2008. Recruitment and body size in relation to temperature in juvenile Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) at South Georgia. *Mar. Biol.* 155, 493–503.
- Beverton R.J.H. and Holt S. J. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *Fish. Invest. U.K. Ser. II*; 19:1–533.
- Brandao, A., Butterworth, D. S., Watkins, B. P., and Miller, D. G. M. 2002. A first attempt at an assessment of the Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) resource in the Prince Edward Islands EEZ. *CCAMLR Sci.* 9, 11–32.
- Brandao, A. and Butterworth, D. S. 2011. A proposed management procedure for the toothfish (*Dissostichus eleginoides*) resource in the prince edward islands vicinity. *CCAMLR. WG-SAM-08/11.* 29 p.
- Breen, P. A., S. W Kim, N. L. Andrew. 2003. A length-based Bayesian stock assessment model for the New Zealand abalone *Haliotis iris*. *Marine Freshwater Research* 54: 619-634.



- Brooks, E. N. and Powers, J. E. 2007. Generalized compensation in stock-recruit functions: properties and implications for management. *ICES Journal of Marine Science*, 64: 413–424.
- Bull, B.; Francis, R.I.C.C.; Dunn, A.; McKenzie, A.; Gilbert, D.J.; Smith, M.H.; Bain, R.; Fu, D. (2012). CASAL (C++ algorithmic stock assessment laboratory): CASAL user manual v2.30-2012/03/21. NIWA Technical Report 135. 280 p.
- CCAMLR 1987. Scientific Committee Report, Hobart.
- CCAMLR. 1995. Informe de la Decimocuarta Reunión del Comité Científico. Informes del Comité Científico SC- CAMLR-XIV: 1-500.
- CCAMLR 2009. Scientific Committee Report, Annex 5: Report of the Working Group on Fish Stock Assessment, Hobart, 133pp.
- CCAMLR 2014. Scientific Committee Report, Annex 7: Report of the Working Group on Fish Stock Assessment. Hobart, Australia.
- Cajal, J. y J. García Fernández. 2002. Informe de Uruguay. En: Sancho A, B Ortiz & N Naranjo (eds). La pesca y el comercio de bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* en América del Sur, pp. 96-112. TRAFFIC América del Sur, Quito
- Candy, S. G. and D.C. Welsford, T. Lamb, J. J. Verdouw and J.J. Hutchins. 2011. Estimation of Natural Mortality for the Patagonian Toothfish at Heard and McDonald Islands Using Catch-at-age and Aged Mark-recapture Data from the Main Trawl Ground. *CCAMLR Science*, Vol. 18: 29–45.
- Cassia M. C. 1998. Comparison of age readings from scales and otoliths of the Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) from South Georgia. *CCAMLR Science* 5: 191-203.
- Céspedes, R., L. Adasme, L. Chong, V. Ojeda, L. Muñoz, H. Hidalgo, R. Bravo, L. Cid, L. Miranda, K. Hunt y M. Miranda. 2008. Investigación Situación Pesquería Demersal Austral, 2007. Programa de Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. SUBPESCA. Informe final, IFOP, 202 p. + Anexos.
- Céspedes, R., C. Vargas y L. Adasme. 2016. Monitoreo de la pesquería del bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*): observadores científicos y sus desafíos. *Anales Instituto Patagonia (Chile)*. 44(3):39-48
- Céspedes, R., L. Chong, R. San Juan, P. Gálvez, V. Ojeda, G. Moyano, R. Bravo, L. Muñoz, L. Adasme y J. González. 2017. Seguimiento de las Pesquerías Demersales y Aguas Profundas, 2016. (Informe final Sección VI: Pesquerías de Aguas Profundas). Valparaíso: Instituto de Fomento Pesquero.



- Clark, W. G. 1999. Effects of an erroneous natural mortality rate on a simple age-structured stock assessment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56: 1721–1731.
- Cook, R. M. 2004. Estimation of the age-specific rate of natural mortality for Shetland sandeels. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 159-164.
- Collins, M. A., P. Brickle, J. Brown and M. Belchier. 2010. The Patagonian Toothfish: Biology, Ecology and Fishery. In: M Lesser (Ed.) *Advances in Marine Biology*, Volume 58, pp. 229–289. Academic Press.
- Constable, A.J., Williams, R., Tuck, G.N., Lamb, T., Morrison, S. 2001. Biology and growth of toothfish. In: He, X., Furlani, D. (Eds.), *Ecologically sustainable development of the fishery for Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) around Macquarie Island: population parameters, population assessment and ecological interactions*. FRDC Report 97/122, pp 87-103.
- Crone, P., M. Maunder, J. Valero, J. Mcdaniel and B. Semmens. 2014. Selectivity: Theory, estimation, and application in fishery stock assessment models. CAPAM Workshop Report 1. 158. 10.1016/j.fishres.2014.03.017.
- Cubillos, L y M. Araya. 2007. Estimaciones empíricas de mortalidad natural en el bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898). *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 42(3): 287 – 297.
- Day J, Wayte S, Haddon M and Hillary R. 2014. Stock Assessment of the Macquarie Island fishery for Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) using data up to and including August 2013. Report to SARAG 48, 1 April 2014. CSIRO, Australia.
- Des Clers, S., Nolan, C. P., Baranowski, R., and Pompert, J. 1996. Preliminary stock assessment of the Patagonian toothfish longline fishery around the Falkland Islands. *J. Fish Biol.* 49, 145–156.
- De Witt, M. M. 1962. On the probable identity of *Macrias amissus* a deepwater nototheniid fish from the chilean coast. *Copeia* 1962 (3): 657-659.
- Duhamel, G. 1991. Biology and harvesting of *Dissostichus eleginoides* around Kerguelen Islands (Division 58.5.1). CCAMLR WG-FSA 91/7.
- El Habouz, H, L. Recasens, S. Kifani, A. Moukrim, A. Bouhaimi, S. El Ayoubi. 2011. Maturity and batch fecundity of the European hake (*Merluccius merluccius*, Linnaeus, 1758) in the eastern central Atlantic. *Scientia Marina*. 75(3):447-454.



- Everson, I., and Murray, A. W. A. 1999. Size at sexual maturity of Patagonian toothfish. *CCAMLR Sci.* 6, 37–46.
- Fournier, D.A., H.J. Skaug, J. Ancheta, J. Ianelli, A. Magnusson, M.N. Maunder, A. Nielsen, and J. Sibert. 2012. AD Model Builder: using automatic differentiation for statistical inference of highly parameterized complex nonlinear models. *Optim. Methods Softw.* 27:233-249.
- Francis, R. I. C. C. 2011. Data weighting in statistical fisheries stock assessment models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 68: 1124–1138.
- Francis, R.I.C. C. 2016. Growth in age-structured stock assessment models. *Fisheries Research* 180:77–86.
- Francis, R.I.C. 2012. The reliability of estimates of natural mortality from stock assessment models. *Fisheries Research.* (119–120): 133–134.
- Froese, R. 2004. Keep it simple: three indicators to deal with overfishing. 5:86-91.
- Galleguillos, R., S. Ferrada, C. Hernández, C. Canales-Aguirre, G. Aedo, M. San Martín, S. Astete. 2008. Unidades poblacionales del bacalao de profundidad. Informe final FIP 2006-41: 165 pp.
- Goetz, S., Laporta, M., Martínez Portela, J., Santos, M. B., and Pierce, G. J. 2011. Experimental fishing with an “umbrella-and-stones” system to reduce interactions of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) and seabirds with bottom-set longlines for Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) in the Southwest Atlantic. – *ICES Journal of Marine Science*, 68: 228–238.
- Goldsworthy, S. D., He, X., Tuck, G. N., Lewis, M., and Williams, R. 2001. Trophic interactions between the Patagonian toothfish, its fishery, and seals and seabirds around Macquarie Island. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 218, 283–302.
- Guerrero, A., and Arana, P. 2009. Fishing yields and size structures of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) caught with pots and longlines off far southern Chile. *Latin Am. J. Aqua. Res.* 37, 361–370.
- Guinet, C., Tixier, P., Gasco, N., and Duhamel, G. Long-term studies of Crozet Island killer whales are fundamental to understanding the economic and demographic consequences of their depredation behaviour on the Patagonian toothfish fishery. – *ICES Journal of Marine Science*, 72: 1587–1597.



- Hanchet, S. M., Stevensen, M. L., Phillips, N. L., and Horn, P. L. 2004. A characterisation of the toothfish fishery in sub-areas 88.1 and 88.2 from 1997/98 to 2003/04. CCAMLR WG-FSA 04/20.
- Harley, S. and M. Maunder. 2003. Recommended diagnostics for large statistical stock assessment models. Inter-American Tropical Tuna Commission. SCTB16 Working Paper. MWG-3. 34.p.
- He, X., Mangel, M. and MacCall, A. 2006 A prior for steepness in stock–recruitment relationships, based on an evolutionary persistence principle. *Fishery Bulletin* 104, 428–433.
- Hilborn, R and C. Walters. 1992. *Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty*. Chapman and Hall. 563 p.
- Hillary, R. M, G.P. Kirkwood and D. J. Agnew. 2006. An Assessment of toothfish in SubArea 48.3 using CASAL. *CCAMLR Science* Vol 13. 65-95.
- Horn, P. L. 2002. Age and growth of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) and Antarctic toothfish (*D. mawsoni*) in waters from the New Zealand sub-Antarctic to the Ross Sea, Antarctica. *Fish. Res.* 56, 275–287.
- Hunter, J.R., B.J. Macewicz, N.C.H. Lo and C.A. Kimbrell. – 1992. Fecundity, spawning and maturity of female Dover sole, *Microstomus pacificus*, with an evaluation of assumptions and precision. *Fish. Bull.*, 90: 101-128.
- IMARPE. 2016. Estado de la pesquería del bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides* Smitt 1898) con proyección de captura al 2017. Instituto del Mar del Perú. 13 p.
- Kalish J.M., and Timmiss T.A. 1998. Determination of Patagonian toothfish *Dissostichus eleginoides* age, growth and population characteristics based on otoliths. CCAMLR WGFS 98/40.
- Kock, K. H., G. Duhamel and J.C., Hureau. 1985. Biology and status of exploited Antarctic fish stocks, a review. *BIOMASS Scientific Series*, 6, 1-143.
- Kock, K. H., and Kellermann, A. 1991. Reproduction in Antarctic notothenioid fish. *Antarct. Sci.* 3, 125–150.
- Kock, K. H., Purves, M. G., and Duhamel, G. 2006. Interactions between cetacean and fisheries in the Southern Ocean. *Polar Biol.* 29, 379–388.
- Lappalainen, A., L. Saks, M. Sustar, O. Heikinheimo, K. Jürgens, E. Kokkonen, M. Kurkilahti, A. Verliin, M. Vetema. 2016.. Length at maturity as a potential indicator of fishing pressure



effects on coastal pikeperch (*Sander lucioperca*) stocks in the northern Baltic Sea. Fisheries Research 174: 47–57.

Laptikhovsky, V. and Brickle, P. 2005. The Patagonian toothfish fishery in Falkland Islands waters. Fish. Res. 74, 11–23.

Laptikhovsky, V., Arkhipkin, A., and Brickle, P. 2006. Distribution and reproduction of the Patagonian toothfish *Dissostichus eleginoides* Smitt around the Falkland Islands. J. Fish Biol. 68, 849–861.

Law, R. and Grey, D., 1989. Evolution of yields from populations with age-specific cropping. Evol. Ecol. 3, 343–359.

Lee, Hui-Hua, M. N. Maunder, K. R. Piner and R. D. Methot. 2011. Estimating natural mortality within a fisheries stock assessment model: An evaluation using simulation analysis based on twelve stock assessments. Fisheries Research 109: 89–94.

Lee, Hui-Hua, M. N. Maunder, K. R. Piner and R. D. Methot. 2012. Can steepness of the stock–recruitment relationship be estimated in fishery stock assessment models?. Fisheries Research. 125–126: 254–261.

Lopez, S., R. Meléndez y B. Molina. 2014. Análisis estomacal principales ítems alimentarios del bacalao de profundidad (*Dissostichus eleiginoides*) en aguas del sur austral de Chile (2013). Informe de Avance (bajo Subcontrato con IFOP), Universidad Andrés Bello, Laboratorio de Biología Marina, junio de 2014, 10 p.

Lord, C., Duhamel, G., and Pruvost, P. 2006. The patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) fishery in the Kerguelen Islands (Indian Ocean sector of the Southern Ocean). CCAMLR Sci. 13, 1–25.

Macchi, G.J., M. Pájaro and M. Ehrlich. 2004. Seasonal egg production pattern of the Patagonian stock of Argentine hake (*Merluccius hubbsi*). Fish. Res., 67: 25-38.

Mace, P.M. and Doonan, I.J. 1988. A generalised bioeconomic simulation model for fish population dynamics. New Zealand Fishery Assessment Research Document 88/4. Fisheries Research Centre, MAFFish, POB 297, Wellington, NZ.

McKinlay, J. P., Welsford, D. C., Constable, A. J., and Nowara, G. B. 2008. An assessment of the exploratory fishery for *Dissostichus* spp. on Banzare Bank (CCAMLR Division 58.4.3b) based on fine-scale catch and effort data. CCAMLR Sci. 15, 55–78.



- Martínez, P., D. y Wöhler, O. C. 2005. La pesquería argentina de merluza negra durante el año 2004. Informe Interno INIDEP N° 01/05: 18 pp.
- Martínez, P., D. y Wöhler, O. C. 2006. Estimación de la abundancia y el potencial pesquero durante el período 1986-2005 de la merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) del Atlántico Sudoccidental. Informe Interno INIDEP N° 30/06: 30 pp.
- Martínez, P., D. Hernández y O. Wöhler. 2011. Análisis de los índices de abundancia de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) derivados de la información de los observadores y de la estadística oficial. Informe de Investigación. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero. 12 p.
- Martínez, P. y Wöhler, O. 2013. Estimación de la abundancia de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) del Atlántico Sur Occidental. Período 1986-2012. Recomendación de la Captura Biológicamente Aceptable para el año 2014. Informe Técnico. INIDEP. 26 pp.
- Martínez, P. y Wöhler. 2016. Hacia la recuperación de la pesquería de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) en el Mar Argentino: un ejemplo de trabajo conjunto entre el sector de la administración, la investigación y la industria. Frente Marítimo, Vol. 24: 115-124.
- Martínez, P., E. Di Marco, O. Wöhler y G. Troccoli. 2016. Diagnóstico del estado de explotación de la merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) del atlántico sudoccidental. recomendación de la captura biológicamente aceptable año 2017. Informe Técnico Oficial 53. INIDEP 25 p.
- Methot, R. D. and C. R. Wetzel. 2013. Stock synthesis: A biological and statistical framework for fish stock assessment and fishery management. Fisheries Research 142: 86–99.
- Moreno, C. 1991. Hook selectivity in the longline fishery of *Dissostichus eleginoides* (*Notothenidae*) off the Chilean coast. CCAMLR Sel. Sci. Pap. 8, 107–119.
- Moreno C. A. and P.S. Rubilar. 1992. Notas sobre la mortalidad de *Dissostichus eleginoides* de la subárea 48.3. CCAMLR Selected Scientific Papers 9: 21-30.
- Moreno C. 1998. Do the males of *Dissostichus eleginoides* grow faster, or only mature before females? CCAMLR WG-FSA 98/17.
- Moreno, C. A., Rubilar, P. S., and Zuleta, A. 1997. Ficha técnica del bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898. CCAMLR WG-FSA 97/42.



- Moreno, C., J. Arata, P. Rubilar, R. Hucke-Gaete and G. Robertson. 2006. Artisanal longline in Southern Chile: Lessons to be learned to avoid incidental seabird mortality. *Biological conservation*. 127:27-36.
- Moreno, C., Castro, R., Mujica, L. J., and Reyes, P. 2008. Significant conservation benefits obtained from the use of a new fishing gear in the Chilean Patagonian toothfish fishery. *CCAMLR Sci.* 15, 78–79.
- Møller, P. R., N.G. Jørgen, I. Fossen. 2003. Patagonian toothfish found off Greenland. *Nature*. 42:599.
- Murua, H., P. Lucio, M. Santurtún, L. Motos. 2006. Seasonal variation in egg production and batch fecundity of European hake *Merluccius merluccius* (L.) in the Bay of Biscay. *Fish. Biol.* 69(5): 1304-1316.
- Nakamura, I. (Ed.). 1986. Important fishes trawled off Patagonia. Japan Marine Fishery Resource Research Center, Tokio. 369 p.
- Oyarzun, C. y Campos, P. W. 1987. *Dissostichus eleginoides* Smith 1898: Consideraciones sobre su determinación taxonómica e implicancias biogeográficas (Pisces, Perciformes, Nototheniidae). *Revista de Biología Marina*. 23(2): 173-192.
- Oyarzún, C., S. Gacitúa M. Araya, L. Cubillos, R. Galleguillos, C. Pino, G. Aedo, M. Salamanca, M. Pedraza y J. Lamilla. 2003a. Monitoreo de la pesquería artesanal de bacalao de profundidad entre la VIII y XI Regiones. Informe Final, Proyecto FIP 2001-16. 222 pp.
- Oyarzún, C., Gacitúa, S., Araya, M., Cubillos, L., Salamanca, M., Pino, C., Galleguillos, R., Aedo, G., and Lamilla, J. 2003b. Asignación de edades y crecimiento de bacalao de profundidad. Informe Final, Proyecto FIP 2001-17. 130 pp.
- Pájaro, M., G. Macchi, P. Martínez, O. Wöhler. 2009. Características reproductivas de dos agregaciones de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) del Atlántico Sudoccidental. Informe de Investigación. INIDEP. 16 pp.
- Patterson, K., R. Cook, C. Darby, S. Gavaris, L. Kell, P. Lewy, B. Mesnil, A. Punt, V. Restrepo, D. W. Skagen and G. Stefánsson. 2001. Estimating uncertainty in fish stock assessment and forecasting. *Fish and Fisheries*. (2):125–157.
- Pavéz, P., E. Yañez, N. Salas, W. Tarky, P. Rojas and H. Flores, 1983. Estudio del bacalao de profundidad *Dissostichus amisus* como recurso pesquero en la región de Valparaíso (33°S-72°W); Evaluación biológica, tecnológica y económica. Inf. Final Secret. Reg. de



Plan. y Coord. De la región de Valparaíso. Estudios y documentos Universidad Católica de Valparaíso 1/183: 1-160.

- Payá, I., and Brickle, P. 2008. Stock Assessment and Total Allowable Catch of Toothfish (*Dissostichus eleginoides*). Falkland Islands Government Fisheries Department Scientific Report.
- Payá, I. C. Canales, D. Bucarey, M. Canales, F. Contreras, E. Leal, R. Tascheri, A. Yáñez, M. J. Zúñiga, W. Clark, M. Dorn, M. Dunn, C. Fernández, M. Haddon, N. Klaer, M. Sissenwine and S. Zhou. 2014. Convenio II: "Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales año 2014". Proyecto 2.16: Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales. Subsecretaría de Economía y EMT. IFOP. Informe Final. 51 p. + Anexos.
- Payne, A. G., Agnew, D. J., and Brandao, A. 2005. Preliminary assessment of the Falklands Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) population: Use of recruitment indices and the estimation of unreported catches. *Fish. Res.* 76, 344–358.
- Peterson, M. J., F. Mueter, D. Hanselman, C. Lunsford, C. Matkin and H. Fearnbach. 2013. Killer whale (*Orcinus orca*) depredation effects on catch rates of six groundfish species: implications for commercial longline fisheries in Alaska, *ICES Journal of Marine Science.* 70(6): 1220–1232.
- Phillips K.L., Rodgers M., and Ansell E. 2009. Macquarie Island toothfish fishery. In "Fishery status reports 2007: status of fish stocks managed by the Australian Government" (D. T. Wilson, R. Curtotti, G. A. Begg, and K. L. Phillips, Eds), pp. 359–365. Bureau of Rural Sciences, Canberra.
- Polacheck, T. 2015. Review Report on the 2014 Stock Assessment of the Chilean Sea Bass (Patagonian toothfish, *Dissostichus eleginoides*). 64 p. In: Ernst, B., C. Parada, J. Porovic, N. Mermoud y M. Rubio. Programa anual de revisión experta a la asesoría científica de las principales pesquerías nacionales, año 2013: bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) y camarón nailon (*Heterocarpus reedi*). Proyecto N° 2013-90-DAP-23. 54 p.
- Prenski, L. B. and Almeyda, S. M. 2000. Some biological aspects relevant to patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) exploitation in the argentine exclusive economic zone and adjacent ocean sector. *Frente Marítimo* 18, 103–124.
- Pukk, L., Kuparinen, A., Järv, L., Gross, R., Vasemägi, A., 2013. Genetic and life-history changes associated with fisheries-induced population collapse. *Evol. Appl.* 6, 749–760.



- Punt, A. y D. Kinzey. 2009. Report of the Alaska Crab Stock Assessment Workshop. Crab Plan Team. North Pacific Fishery Management Council. 43 p.
- Purves, M. G., Agnew, D. J., Balguerías, E., Moreno, C. A., and Watkins, B. 2004. Killer whale (*Orcinus orca*) and sperm whale (*Physeter macrocephalus*) interactions with longline vessels in the Patagonian toothfish fishery at South Georgia, South Atlantic. *CCAMLR Sci.* 11, 111–126.
- Quiroz, J. C. 2009. Investigación Evaluación del Stock y CTP Bacalao de Profundidad. 2009. Informe Final. SUBPESCA-IFOP. 31 p. + Anexos.
- Quiroz, J. C. 2010. Investigación del estatus y evaluación de estrategias de explotación sustentables en bacalao de profundidad, 2010. Informe Final. SUBPESCA-IFOP. 52 p. + Anexos.
- Quiroz, J. C. y R. Wiff. 2010. Convenio: Investigación del estatus y evaluación de estrategias de explotación sustentables 2011, de las principales pesquerías chilenas. Actividad 2: Peces demersales bacalao de profundidad 2011. Informe Final. SUBPESCA-IFOP. 49 p. + Anexos.
- Quiroz, J. C. y R. Wiff 2012. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2012. Informe Final. SUBPESCA-IFOP. 81 p. + Anexos.
- Quiroz, J. C. y R. Wiff. 2013. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2013: Bacalao de profundidad 2013. Informe Final. SUBPESCA-IFOP. 75 p. + Anexos.
- Quiroz, Q. 2014. Informe consolidado Convenio II: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales 2014. Proyecto 2.7: Investigación del estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables en bacalao de profundidad, año 2014: Bacalao de profundidad, 2014. Instituto de Fomento Pesquero – Subsecretaría de Economía y EMT. 71p + Anexos.
- Reid, K., and Amould, J. P. Y. 1996. The diet of Antarctic fur seals *Arctocephalus gazella* during the breeding season at South Georgia. *Polar Biol.* 16, 105–114.
- Reid, K., and Nevitt, G. A. 1998. Observation of southern elephant seal, *Mirounga leonina*, feeding at sea near South Georgia. *Mar. Mamm. Sci.* 14, 637–640.
- Rijnsdorp, A. D., van Damme, C. J. G., and Witthames, P. R. 2010. Implications of fisheries-induced changes in stock structure and reproductive potential for stock recovery of a sex-dimorphic species, North Sea plaice. – *ICES Journal of Marine Science*, 67: 1931–1938.



- Roberts, J., and Agnew, D. A. 2008. Proposal for an extension to the mark recapture experiment to estimate toothfish population size in Subarea 48.4. CCAMLR WG-FSA 08/46.
- Rubilar, P., C. Moreno y A. Zuleta. 1999. Edad y crecimiento de *Dissostichus eleginoides* (Pisces: *Notheniidae*) en la costa centro-sur de Chile (38°19' a 43°). Rev. Chilena de Hist. Nat. 72: 285- 296.
- Rubilar, P., A. Zuleta, F. Balbontín y P. Troncoso. 2010. Bases para un programa colaborativo de monitoreo científico en la pesquería del bacalao. Pesca de Investigación Bacalao 2009. Informe Primera Etapa. Centro de Estudios Pesqueros S.A. 47 p.
- Rubilar, P., A. Zuleta y C. Moreno. 2014. Monitoreo pesquería - dependiente y marcaje del bacalao de profundidad en Chile. Pesca de Investigación Bacalao 2013. Informe final. CEPES. S.A. 67 p.
- Sampson, D. B. and Scott, R. D., 2011. A spatial model for fishery age-selection at the population level. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 68, 1077–1086.
- Sancho, A. 2002. Informe de Perú. En: Sancho A, B Ortiz & N Naranjo (eds). La pesca y el comercio de bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* en América del Sur, pp. 96-112. TRAFFIC América del Sur, Quito
- Salas, R. A., H. Robotham, G. Lizama. 1987. Investigación del bacalao. VIII Región. Informe Intendencia Región del Bio Bio. Secretaría Regional de Planificación y Coordinación de la Región del Bio Bio. Instituto de Fomento Pesquero. Informe Técnico. 107 p.
- San Martín, M., V. Escobar, C. Román, J. C. Saavedra-Nievas, Z. Young, J. Azócar, C. Bravo, J. López, C. Bernal. 2016. Convenio de Desempeño 2015 Programa de Investigación del Descarte y Captura de Pesca Incidental, año 2015. Instituto de Fomento Pesquero - Subsecretaría de Economía y EMT. 310 p + Anexos.
- SC-CAMLR. 2001. Report of the workshop on estimating age in Patagonian toothfish. In: Report of the twentieth meeting of the scientific committee, annex 5, appendix H. CCAMLR, Hobart, Australia, pp 533–558.
- Schaefer, M.B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. IATTC Bull. 1:27--56.
- Shust R. R, PS Gasiukov, RS Dorovkikh & BA Kenzhin. 1990. The state of *Dissostichus eleginoides*. Stock and TAC for 1990/91 in Subarea 48.3 (South Georgia). CCAMLR WG-FSA-90/34: 1-27.



- Söffker M, Trathan P, Clark J, Collins MA, Belchier M, Scott R (2015) The Impact of Predation by Marine Mammals on Patagonian Toothfish Longline Fisheries. PLoS ONE 10(3): e0118113. doi:10.1371/journal.pone.0118113
- Stahl, J. P. and G. H. Kruse. 2008. Spatial and temporal variability in size at maturity of Walleye Pollock in the Eastern Bering Sea. Transactions of the American Fisheries Society 137:1543–1557.
- Tascheri, R., C. Canales, R. Céspedes y L. Chong. 2015. Convenio de Desempeño 2014: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2015: Bacalao de profundidad, 2015. DOCUMENTO TÉCNICO N°2. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 141 p.
- Tascheri, R. y C. Canales. 2016. Documento Técnico Consolidado. Convenio de Desempeño 2015: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2016: Bacalao de profundidad, 2016. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 120 p.
- Tascheri, R. 2017. Documento Consolidado. Convenio de Desempeño 2016: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2017: Bacalao de profundidad, 2017. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 109 p.
- Tascheri, R. 2018a. Convenio de Desempeño 2017: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2018. Bacalao de profundidad 2018. Informe 3. Consolidado. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 115 p.
- Tascheri, R. 2018b. Convenio de Desempeño 2018 Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2019: Bacalao de profundidad, 2019. Primer Informe. Revisión, enfoque y metodología Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 73 p.
- Thorson, J. T., I. G. Taylor. 2014. A comparison of parametric, semi-parametric, and non-parametric approaches to selectivity in age-structured assessment models .Fisheries Research 158:74–83.
- Vetter, E. F. 1988. Estimation of natural mortality in fish stocks: A re- view. Fishery Bulletin, 86: 25–43.



- Wayte, S. and G. Fay. 2013. Stock Assessment of the Macquarie Island fishery for Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) using data up to and including August 2012. Australian Fisheries Management Authority. 21 p.
- Williams, E. H., and K. W. Shertzer. 2003. Implications of life-history invariants for biological reference points used in fishery management. *Can. J. Fish. Aquat. Sci* 60:710–720.
- Wöhler, O. C., P. Martínez y A. Giussi, A, 2001. Características de la pesca por arrastre de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) en el mar argentino durante el año 2000 y recomendaciones tendientes a evitar la captura de juveniles. Informe interno INIDEP 72/01: 23 pp.
- Wöhler, O. C. y Martínez, P.A. 2005. Estimación de la abundancia y el potencial pesquero de la merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) en el Atlántico Sudoccidental período 1986-2004. Informe Interno INIDEP 15/05: 32pp.
- Wöhler, O. C. 2013. La Pesquería de Merluza Negra en el Atlántico Sudoccidental. Aspectos de su evolución histórica y el esquema de manejo actual. Presentación entregada en el Taller de trabajo Científico Chileno-Argentino "Estructura Espacial del Stock Sudamericano de Bacalao (*Dissostichus eleginoides*), Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Campus Isla Teja, Valdivia 24-26 Septiembre de 2013, Chile.
- Yáñez E and L Pizarro. 1984. Análisis del rendimiento por recluta del bacalao de profundidad (*Dissostichus amicus*, Gill and Townsend, 1901) en la región de Valparaíso (33°S - 72°W). *Investigaciones Marinas, Valparaíso* 12: 87-92.
- Yates, P., P. Ziegler, D. Welsford, J. McIvor, B. Farmer and E. Woodcock. 2018. Spatio-temporal dynamics in maturation and spawning of Patagonian toothfish *Dissostichus eleginoides* on the sub-Antarctic Kerguelen Plateau. *Journal of Fish Biology*. 92: 34–54.
- Young Z., Zuleta A., Robotham H., Aguayo M., and Cid L. 1992. Evaluación del stock de bacalao de profundidad entre las latitudes 47° y 57° S. Informe Técnico IFOP-SUBPESCA, 1-63.
- Young, Z., H. González & P. Gálvez. 1997. Análisis de la captura y del esfuerzo de pesca en la pesquería de Bacalao de Profundidad en la zona Centro-Sur. Informes Técnicos FIP, FIP-IT/96-32, 63 p. + Anexos.
- Young, Z., J. Oliva, A. Olivares y E. Díaz. 1999. Aspectos reproductivos del recurso bacalao de profundidad en la I a X Regiones. Informe Final Proyecto FIP 97- 16: 51 pp.



- Zacharov GP and ZA Frolkina. 1976. Some data on distribution and biology of the patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides* Smitt) occurring in the Southwest Atlantic (in Russian). Trudy AtlantNIRO 65: 143-150.
- Zhou, S. 2007. Discriminating alternative stock–recruitment models and evaluating uncertainty in model structure. Fish. Res. 86: 268–279.
- Zuleta A and C.A. Moreno. 1992. Catch at age analysis applied to new fisheries: the case of *Dissostichus eleginoides*. CCAMLR Selected Scientific Papers. SC-CAMLR - SSP/9: 3-9.
- Zuleta, A. y Z. Young. 1996. Investigación CTP de bacalao de profundidad al sur 47° L.S. 1997. Informe Final. 14 p + Anexo.
- Zuleta, A y S. Hopf. 2010. Gestión y asesoría 2009 a los operadores de bacalao (OBAC). Centro de Estudios Pesqueros S.A.- OBAC. 23 p. + Anexos.
- Ziegler P., D. Welsford, Bill de la Mare and Paul Burch, 2014. An Integrated Stock Assessment for the Heard Island and the McDonald Islands Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) fishery (Division 58.5.2). WG-FSA-14/34, Australian Antarctic Division of Environment, 203 Channel Highway, Kingston, Tasmania 7050, Australia: 53 p.

A N E X O S

A N E X O 1

Modelo de evaluación de stock
(Descripción matemática).



Tabla 1.
Símbolos y definiciones usadas en las ecuaciones del modelo.

Definición general	Símbolo	Uso en el modelo de captura a la edad
Índice anual: $i = \{1978, \dots, 2017\}$	i	
Índice de edades: $j = \{3, 4, \dots, 30^+\}$	j	
Índice de longitudes: $l = \{22, 27, \dots, 222^+\}$	l	
Longitud media a la edad	L_j	
Matriz de probabilidades de la longitud a la edad	$\Gamma_{l,j}$	
Flota	f	Industrial, artesanal, palangre argentina, arrastre argentina.
Coef. de variación de la longitud a la edad	cv	
Peso medio a la edad j	W_j	
Edad máxima luego de la cual la selectividad es constante	$Maxe$	Parametrización de la selectividad
Tasa mortalidad natural	M	0,15 constante a través de los años y edades
Proporción maduros a la edad j	p_j	Definición de la biomasa desovante
Tamaño de muestra de las proporciones de edad j en el año i .	T_j	Escala el supuesto multinomial acerca de los estimados de las proporciones a la edad.
Parámetros relación stock recluta	R_0	Reclutamiento virginal de equilibrio.
	h	Steepness de la relación SR. Fijo en 0,6.
	σ_R^2	Varianza del reclutamiento
Función logarítmica de verosimilitud negativa.	V	



Tabla 2.
Ecuaciones de los modelos AMAK para bacalao de profundidad.

Definiciones generales	Símbolo	Descripción
1) Índice de abundancia f por año i	Y_i^f	$Y_i^f = q_i^f \sum_{j=3}^{30+} S_j^f W_{i,j} e^{Z_{i,j} \frac{L_j}{2}} N_{i,j}$
2) Captura anual en peso	C_i ; Pacífico años 2007 a 2017	$C_i = \sum_j W_{i,j} N_{i,j} \frac{F_{i,j}}{Z_{i,j}} (1 - e^{-Z_{i,j}})$
3) Captura en número por clase de longitud.	$C_{i,l}$; Pacífico 1991 a 2006; Atlántico 2003 a 2017.	$\hat{C}_{i,l} = \Gamma_{l,j} \hat{C}_{i,j}$ $\tau_{l,j} = \int_j^j \frac{1}{2\sigma_j^2} (l-L_j)^2 dl$ $L_j = L_\infty (1 - e^{-k}) + e^{-k} L_{j-1}$ $\sigma_j = cvL_j$
3) Proporciones a la edad j en el año i	$P_{i,j}, \sum_{j=3}^{30} P_{i,j} = 1$	$P_{ij} = \frac{N_{i,j} S_{i,j}^f}{\sum_{k=3}^{31+} N_{i,k} S_{i,k}^f}$
Proporciones por clase de longitud l en el año i .	$P_{i,l}, \sum_{l=22}^{222} P_{i,l} = 1$	$P_{il} = \frac{C_{i,l}}{\sum_{l=22}^{222} C_{i,l}}$
4) Números iniciales a la edad	$j=3$	$N_{1978,1} = e^{\mu_R + \epsilon_{1978}}$
	$3 < j < 29$	$N_{1978,j} = e^{\mu_R + \epsilon_{1978-j}} \prod_{j=3}^j e^{-M}$
	$j=30+$	$N_{1978,31} = N_{1978,30} (1 - e^{-M})^{-1}$
5) Años subsecuentes ($i > 1978$)	$j=3$	$N_{i,1} = e^{\mu_R + \epsilon_i}$
	$3 < j < 29$	$N_{i,j} = N_{i-1,j-1} e^{-Z_{i-1,j-1}}$
	$j=30+$	$N_{i,30+} = N_{i-1,30} e^{-Z_{i-1,29}} + N_{i-1,31} e^{-Z_{i-1,30}}$
6) Efecto anual, $i=1978, \dots, 2017$	$\epsilon_i, \sum_{i=1978}^{2017} \epsilon_i = 1$	$N_{i,1} = e^{\mu_R + \epsilon_i}$
		$F_{i,j} = e^{\mu_f + \eta_j^f + \phi_i}$
7) Mortalidad por pesca instantánea		
Efecto medio de la pesca	μ_i	
Efecto anual de la pesca en el año i	$\phi_i, \sum_{i=1978}^{2017} \phi_i = 0$	
Efecto de la pesca en las edades		
(normalizado). Con variación anual.	$\eta_i^f, \sum_{j=1}^{30+} \eta_{ij} = 0$	$S_{ij}^f = e^{\eta_j^f}, \text{ if } j \leq \text{Maxe}$ $S_{ij}^f = e^{\eta_{\text{Maxe}}^f}, \text{ if } j > \text{Maxe}$



Tabla 2 (continuación).
Ecuaciones de los modelos AMAK para bacalao de profundidad.

Definiciones generales	Símbolo	Descripción
En años en que la selectividad es contante en el tiempo.	$\eta_{i,j}^f = \eta_{i-1,j}^f$	
8) Mortalidad total		$Z_{i,j} = F_{i,j} + M$
9) Biomasa desovante a inicios de agosto	B_i	$B_i = \sum_{j=3}^{30} N_i e^{-\frac{7}{12}Z_i} W_{i,j} P_j$
10) Reclutamiento	\tilde{R}_i	$\tilde{R}_i = \frac{\alpha B_i}{\beta + B_i}$
Forma Beverton y Holt		$\alpha = \frac{4hR_0}{5h-1}$ y $\beta = \frac{B_0(1-h)}{5h-1}$
		$h = 0.6$
		$B_0 = \tilde{R}_0 \varphi$
		$\varphi = \frac{e^{-M} W_{31} P_{31}}{1 - e^{-M}} + \sum_{j=3}^{31} e^{-M(j-1)} W_j P_j$
Parámetros a estimar		
	$\phi_i(\#), R_0, \varepsilon_i(\#), \mu^f, M, \eta_j^f(\#)$	



Tabla 3.
Componentes de la función objetivo de los modelos AMAK para bacalao de profundidad.

Componentes de verosimilitud		Descripción/ notas
11) Índice de abundancia relativa	$V_1 = \lambda_1 \sum_i \ln \frac{Y_i^f}{\hat{Y}_i^f} \frac{1}{2\sigma_i^2}$	CPUE flotas artesanal, industrial y palangre y arrastre argentinos
12) Prior del suavizamiento de la selectividad	$V_2 = \lambda_2 \sum_{j=3}^{31+} (\eta_{j+2}^f + \eta_j^f + \eta_{j+1}^f)^2$	Suavizamiento (segunda derivada). Influencia los estimados en ausencia de datos. Si no hay señal del reclutamiento, este converge al reclutamiento medio.
13) Prior regularidad del reclutamiento	$V_3 = \lambda_3 \sum_{i=1978}^{2017} \epsilon_i^2 \frac{1}{2\sigma_R^2}$	Ajuste a la captura de cada año.
14) Verosimilitud de la captura.	$V_4 = \lambda_4 \sum_{i=1978}^{2017} \ln \left(\frac{C_i}{\hat{C}_i} \right)^2$	
15) Verosimilitud de las proporciones a la edad.	$V_5 = \sum_{f,i,j} T_{i,j}^f P_{i,j}^f \ln(\hat{P}_{i,j}^f P_{i,j}^f)$	
16) Regularidad de la mortalidad por pesca.	$V_6 = \lambda_6 \sum_{i=1978}^{2017} \phi^2$	Se relaja en la última fase de estimación.
17) Priors	$V_7 = \lambda_7 \frac{\ln(l/l_j)^2}{2\sigma_i^2}$	Prior en la longitud media de la primera edad.
Función objetivo total a ser minimizada.	$\hat{V} = \sum_{k=1}^7 V_k$	

A N E X O 2

Estimación de índices de abundancia relativa



Estimación de índices de abundancia relativa de bacalao de profundidad usando datos de captura y esfuerzo de las pesquerías industrial y artesanal desarrolladas en la zona económica exclusiva de Chile.

1. Resumen

Se informan los análisis de estandarización del esfuerzo de las pesquerías industrial (con cachalotera: 47°00'-57°00' LS) y artesanal (18°21' - 47°00' LS) de bacalao de profundidad. Los datos de captura y esfuerzo de la pesca industrial fueron obtenidos desde los registros realizados por CPES entre los años 2006 y 2013 y aquellos tomados por el proyecto de seguimiento de la pesquería entre los años 2014 y 2017. Los datos artesanales fueron tomados desde los registros de los años 1989 a 1996 del proyecto FIP 96- 32 y los recopilados por el proyecto de monitoreo de la pesquería mantenido por IFOP. Una vez validados, los datos fueron explorados describiendo sus principales características.

La varianza fue estabilizada mediante logaritmos y para el caso industrial se ajustó un modelo lineal generalizado mixto (GLMM) con la tasa de captura (kg/(barandillo x hora de reposo) como variable respuesta. El modelo incluyó los efectos fijos Año, Mes y Caladero y los efectos aleatorios Barco y la interacción Año:Caladero. En el caso artesanal se ajustaron dos modelos: un modelo lineal generalizado (GLM) y un GLMM, usando la tasa de captura (kg/días fuera de puerto) como variable respuesta en ambos casos. El predictor lineal del modelo GLM incluyó los factores Año, Mes, Caladero y Potencia, además de la interacción Año:Caladero, en tanto que el los efectos fijos del GLMM incluyeron los factores Año, Mes y Caladero. El GLMM de estandarización del esfuerzo artesanal incluyó además el efecto aleatorio Potencia y la interacción aleatoria Año:Caladero. Todos los modelos cumplieron el supuesto de distribución estadística de manera satisfactoria.

La abundancia relativa industrial se redujo continuamente entre los años 2008 y 2017. En el año 2017, sin embargo, se observó un significativo incremento. Se discute la posibilidad de que este reciente incremento en el rendimiento de pesca se deba a nuevas modificaciones introducidas al aparejo de pesca durante el año recién pasado.

La abundancia relativa artesanal se redujo rápidamente entre los años 1986 y 1998. Luego de un incremento marginal entre los años 1999 y 2011 la abundancia de bacalao de profundidad en el área de pesca artesanal se ha mantenido relativamente estable. La notable reducción en los datos de captura y esfuerzo artesanales entre los años 1997 y 2016, significó que las estimaciones realizadas para este último período son más inciertas en comparación con las estimaciones realizadas para los años 1986 a 1996.



2. Introducción

Los modelos estadísticos de captura a la edad y modelos integrados son los métodos empleados cuando se requieren estimaciones de abundancia, reclutamiento y mortalidad por pesca de una población explotada de peces (Quinn, 2003, Maunder y Punt 2013), consecuentemente, las evaluaciones de stock de bacalao de profundidad hacen uso de estas herramientas para determinar el estatus del recurso (Tascheri 2018).

Estos modelos, como mínimo, requieren de la composición de edades de las capturas y de un índice de abundancia. En ausencia de un indicador de la abundancia estimado independientemente de la actividad pesquera, frecuentemente se debe recurrir a la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), estimada con datos de las operaciones de pesca, para obtener un índice de abundancia relativa, lo que requiere suponer una proporcionalidad entre la CPUE y la abundancia del stock (Hinton y Maunder 2003, Maunder y Punt 2004).

Diferencias de poder de pesca entre las embarcaciones, cambios en los patrones estacionales y espaciales del esfuerzo, de la población explotada y los propios cambios de la abundancia, sin embargo, pueden afectar la proporcionalidad entre la CPUE y la abundancia (i.e. el valor del coeficiente de capturabilidad), lo que requiere de la aplicación de un conjunto de técnicas estadísticas a fin de cuantificar el efecto que estos factores que pueden tener sobre las tasas de captura. Este procedimiento recibe el nombre de estandarización del esfuerzo e idealmente permite obtener un índice que sigue las fluctuaciones en la abundancia del recurso (Hinton y Maunder, 2003, Maunder y Punt 2004).

En este anexo se describen los datos, métodos y resultados de los análisis de estandarización de la CPUE de las pesquerías industrial (con cachalotera) y artesanal dirigidas a la captura del bacalao de profundidad en el territorio marítimo chileno.

Para este propósito se emplearon los datos de captura y esfuerzo de la pesca con cachalotera tomados por el Centro de Estudios Pesqueros S.A. (CPES) entre los años 2007 y 2013 (Rubilar et al 2014) y aquellos tomados en esta pesquería por el proyecto de seguimiento de la pesca de aguas profundas conducido por el IFOP entre los años 2014 y 2017 (Céspedes et al 2017) para producir una base de datos que cubre 11 años de pesca con cachalotera. Del mismo modo, los datos de la pesca artesanal tomados entre los años 1986 y 1996 por el proyecto FIP 96-32 (Young et al. 1997) junto a los registros del proyecto de seguimiento de la pesca artesanal conducido por IFOP (Céspedes et al 2017), fueron combinados en una sola base de datos a objeto de conducir un análisis de estandarización del esfuerzo de pesca.



Los datos de captura y esfuerzo de pesca con cachalotera permitieron ajustar un modelo lineal generalizado mixto (GLMM), mientras que con los datos de la pesca artesanal se ajustaron dos modelos: un modelo lineal generalizado (GLM) y otro GLMM.

La abundancia relativa en el área de pesca industrial entre los años 2007 y 2016 continuó la reducción observada en los años previos (Tascheri et al. 2015). En el año 2017, sin embargo, esta tendencia se quiebra observándose un incremento respecto del año 2016. Se discute las modificaciones introducidas en el aparejo de pesca durante el año 2017 como una probable causa de este resultado.

De acuerdo con las estimaciones realizadas, la abundancia relativa de bacalao de profundidad en el área de pesca artesanal se redujo notablemente entre los años 1986 y 2006, manteniéndose relativamente estable entre los años 2007 y 2017. El menor número de registros de captura y esfuerzo se reflejó en una mayor incertidumbre de las estimaciones para este último período.

3. Métodos

3.1. Análisis de estandarización del esfuerzo de la pesca industrial de bacalao de profundidad entre los años 2007 y 2017

3.1.1. Fuentes de datos

Las bases de datos de bitácoras de pesca industrial mantenidas por este proyecto de evaluación de stock son dos: la base de datos de pesca con palangre español (**Figura 7 A** en este informe) que se extiende entre los años 1989 y 2006 y la base de datos de pesca con cachalotera que se extiende entre los años 2007 y 2017 (**Figura 7 B** en este informe). Esta separación se introdujo en la evaluación de stock del año 2014, debido a las diferencias operacionales, en eficiencia y a que la medida del esfuerzo de pesca que se considera aproxima mejor la mortalidad por pesca es también diferente en estos dos aparejos (Rubilar et al. 2010, Tascheri et al. 2015). Ambas bases de datos identifican las embarcaciones con un código y contienen información del esfuerzo de pesca (e.g. localización geográfica del lance, captura retenida por especie, número de anzuelos totales, profundidad de operación, fecha y hora de inicio y fin del calado y virado del aparejo).

La base de registros de pesca de palangre fue compuesta a partir de datos mantenidos en el sistema centralizado del IFOP y está integrada tanto por registros recopilados por el SERNAPESCA como por información tomada mediante el despliegue de observadores científicos del IFOP a bordo de los barcos pesqueros (estos registros son posibles de discriminar en la base de datos mediante un código; Céspedes et al 2017). La base de datos de pesca con cachalotera fue compuesta con los registros de



los muestreos realizados por el CPES entre los años 2006 y 2013 (con financiamiento de AOBAC¹⁰, quienes contribuyeron con esta información para su uso con fines de investigación) junto con registros tomados por el proyecto de seguimiento de la pesquería entre los años 2014 y 2017. La base de datos de pesca con cachalotera se distingue por incluir datos operacionales relativos a la pesca con este aparejo e.g. el número de barandillos (**Figura 7 B, C y D** en este informe), además de observaciones relacionadas a la interacción de la pesca con mamíferos marinos. La fracción de datos de la base de pesca con cachalotera aportada por AOBAC corresponde exclusivamente a registros tomados por observadores de CPES, mientras que la fracción aportada por el seguimiento de IFOP corresponde a una combinación de registros de recopilados por el SERNAPESCA y por observadores científicos del IFOP a bordo de los buques pesqueros.

El análisis reportado en esta sección del Anexo corresponde a la estandarización del esfuerzo de pesca usando la segunda base de datos descrita i.e. los registros de pesca con cachalotera, dado que desde el año 2008 esta pesquería ha operado exclusivamente utilizando este aparejo. La estandarización del esfuerzo de pesca usando los registros de la primera base de datos i.e. registros de pesca con palangre español, se encuentra reportada en Tascheri et al. (2015).

Las bitácoras de pesca del año 2017 fueron sometidas al proceso de validación descrito en Tascheri et al. (2015) y anexadas a la base de datos histórica de la operación con cachalotera para obtener una base de datos de 5.030 registros, conteniendo las operaciones de pesca de los años 2007 a 2017 (**Figura 1**).

¹⁰ Asociación de Operadores de Bacalao de Profundidad de Magallanes A.G.

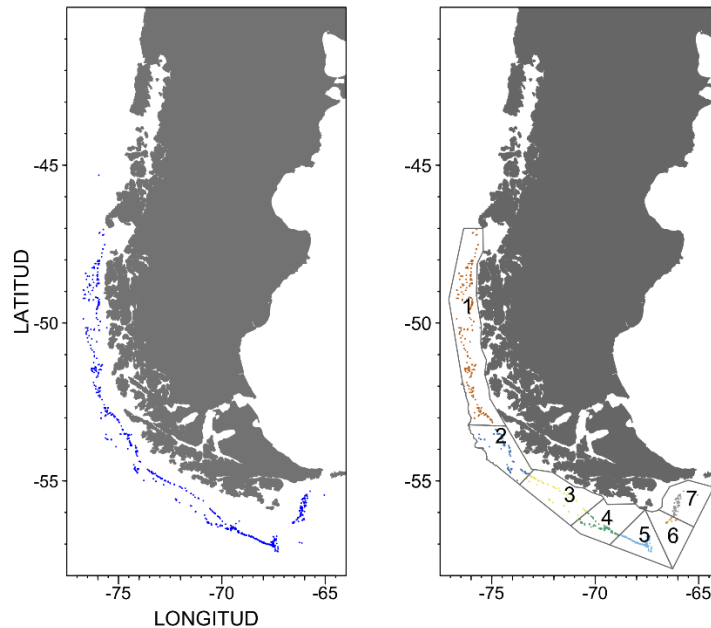


Figura 1. Localizaci3n espacial de los lances registrados en las bit3coras de pesca industrial de bacalao de profundidad recopiladas por el IFOP en el a1o 2017 (panel izquierdo) y su distribuci3n en los 7 caladeros identificados para esta flota (panel derecho).

3.1.2. Estandarizaci3n del esfuerzo

Se estabiliz3 la varianza mediante la aplicaci3n de logaritmos y se procedi3 a ajustar un modelo lineal generalizado mixto (GLMM) incluyendo los efectos fijos A1o, Mes y Caladero, el efecto aleatorio Barco y la interacci3n aleatoria A1o:Caladero. De acuerdo con la nomenclatura de codificaci3n, tenemos:

$$\log(\text{CPUE}) \sim \text{A1o} + \text{Mes} + \text{Caladero} + (1|\text{Barco}) + (1|\text{A1o:Caladero})$$

En la exploraci3n de los datos, an3lisis estadístico y representaci3n gr3fica de los resultados se emple3 el lenguaje y ambiente para la computaci3n estadística R (R Core Team 2018) y las librerías dplyr (Wickham et al. 2017), PBSmapping (Schnute et al. 2017), lme4 (Bates et al. 2015), emmeans (Lenth 2018), ggplot2 (Wickham 2009) y ggCaterpillar (<https://rdrr.io/github/davebraze/FDB1/man/ggCaterpillar.html>).



3.2. Análisis de estandarización del esfuerzo de la pesca artesanal de bacalao de profundidad entre los años 1986 y 2017.

3.2.1. Fuentes de datos

Los datos de la operación de pesca artesanal fueron obtenidos desde dos fuentes: el proyecto de análisis de la captura y el esfuerzo de pesca en la pesquería de bacalao de profundidad en la zona centro-sur, que incluyó los años 1986 a 1996 (Young et al. 1997) y registros tomados por el proyecto de seguimiento de la pesquería de bacalao de profundidad entre los años 1997 y 2017 (Céspedes et al. 2017). Ambos proyectos fueron ejecutados por el IFOP, sin embargo, difieren notablemente con respecto a los niveles de cobertura, detalle de la información recopilada y criterios de validación.

Los datos de los años 1997 a 2014 fueron validados reteniendo para el análisis de estandarización sólo las operaciones de pesca con más de 5 y menos de 30 días fuera de puerto (d_{fp}) y capturas por viaje inferiores a 7 toneladas. Estos criterios fueron relajados para los años 2015 a 2017 debido a que fueron diseñados para discriminar esfuerzo de la flota artesanal realizado al sur del paralelo 47° LS. La obligación de instalar posicionador satelital en la flota artesanal con menos de 15 m de eslora, introducida en la última modificación de la LGPA, hace innecesario el uso de estos criterios de validación en estos últimos años. La restricción de los datos al norte del paralelo 47° LS, se hizo para mantener consistencia con la información recopilada en el estudio de Young et al (1997), en donde sólo se realizaron muestreos en el área de pesca artesanal.



El análisis de estandarización incluyó las zonas de pesca definidas en el proyecto FIP (Young et al 1997): **Z1:** 17°30'-28°00'; **Z2:** 28°00'-36°00'; **Z3:** 36°00'-40°00'; **Z4:** 40°00'-42°00'; **Z5:** 42°00'-47°00'.

Y las categorías de potencia de motor definidas en el mismo proyecto (Young et al 1997) **P1:**<50; **P2:** 50-90; **P3:** 90-130; **P4:** 130-170; **P5:** 170-210; **P6:** 210-250; **P7:** 250-290; **P8:** 290-300; **P9:** >300.

3.2.2. Estandarización del esfuerzo

Se estabilizó la varianza mediante logaritmos y se procedió a ajustar dos modelos: un modelo lineal generalizado (GLM), incluyendo los factores Año, Mes, Caladero y Potencia, además de la interacción Año:Caladero y un modelo lineal generalizado mixto (GLMM), incluyendo los efectos fijos Año, Mes y Caladero, el efecto aleatorio Potencia y la interacción aleatoria Año:Caladero. De acuerdo con la nomenclatura de su codificación, tenemos:

$$M1: \log(\text{CPUE}) \sim \text{Año} + \text{Mes} + \text{Caladero} + \text{Potencia} + \text{Año:Caladero}$$

$$M2: \log(\text{CPUE}) \sim \text{Año} + \text{Mes} + \text{Caladero} + (1|\text{Potencia}) + (1|\text{Año:Caladero})$$

En la exploración de los datos, análisis estadístico y gráficos de los resultados se empleó el lenguaje y ambiente para la computación estadística R (R Core Team 2018) y las librerías dplyr (Wickham et al. 2017), PBSmapping (Schnute et al. 2017), lme4 (Bates et al. 2015), emmeans (Lenth 2018), ggplot2 (Wickham 2009) y ggCaterpillar (<https://rdr.io/github/davebraze/FDB1/man/ggCaterpillar.html>).



4. Resultados

4.1. Análisis de estandarización del esfuerzo de la pesca industrial de bacalao de profundidad entre los años 2007 y 2017.

4.2. Descripción de los registros de captura industrial.

La distribución de los lances por año y caladero para la totalidad de la base de datos se presenta en la **Tabla 1**. El año con mayor número de operaciones de pesca registradas en la base de datos corresponde a 2013 con un 32% de los lances.

La zona/caladero que concentra el mayor número de operaciones de pesca es la Zona 7 con un 30% de las operaciones registradas en la base de datos, en importancia relativa esta Zona es seguida por los registros de pesca localizados en las Zonas 3, 5 y 6 que en su conjunto representan el 44% de las operaciones registradas en la base de datos (**Tabla 1**).

Tabla 1

Distribución anual de los registros de operaciones de pesca industrial con cachalotera por caladero.

Año	Caladero							%
	1	2	3	4	5	6	7	
2007	0	3	4	14	0	2	0	1
2008	5	27	38	14	18	13	2	3
2009	18	62	117	61	33	35	14	9
2010	34	14	62	46	19	16	13	6
2011	10	37	55	56	25	29	75	8
2012	1	1	12	28	29	74	60	6
2013	123	88	78	79	109	148	533	32
2014	12	2	19	38	14	30	60	5
2015	25	12	30	16	27	51	146	8
2016	24	4	42	48	63	28	58	7
2017	57	20	116	95	48	90	123	15
%	9	7	16	14	11	14	30	100



La base de datos validada de pesca con cachalotera contiene los registros de 9 barcos de pesca, tres de los cuales (cod. 400075, 940239 y 940391) dan cuenta del 65% de las operaciones de pesca (**Tablas 2**), seguidas por otros tres barcos (cod. 400074, 941612 y 942434) responsables por un 29% de las operaciones. En el año 2017, dos barcos (cod. 400075 y 940239) realizaron el 74% de las operaciones (**Tabla 2**).

Tabla 2

Número de lances por año y barco realizados en la pesquería industrial de bacalao de profundidad utilizando el aparejo cachalotera.

Barco	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	%
400065	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
400074	0	0	25	4	30	47	282	0	0	0	0	10
400075	0	0	46	0	15	92	223	98	130	50	242	23
400099	0	0	0	0	0	0	65	106	0	0	0	4
940239	0	10	12	155	137	0	240	63	70	0	176	22
940391	23	108	170	19	88	3	192	8	32	59	56	19
941225	0	0	0	0	0	0	65	0	0	0	15	2
941612	0	0	87	26	18	61	147	6	0	75	0	11
942434	0	0	0	0	0	2	74	0	75	83	75	8
%	1	3	9	5	7	5	33	7	8	7	15	100

Al considerar la distribución espacial de los rendimientos de pesca, se observa que en el año 2007 el área de la pesquería es menor en comparación con el resto de los años de la serie. Esto es, sin embargo, una situación aparente ya que se debe a que una fracción importante de los lances de pesca del año 2007 fue realizada utilizando el palangre español. Sin perjuicio de ello, en los años 2008 a 2010 el área de la pesquería parece acotada en su límite norte respecto de los años 2011 a 2017 (**Figuras 2 a la 4**).

Los mapas de rendimiento muestran una disminución a través de los años y un incremento de los rendimientos en el año 2017 (**Figuras 2 a la 4**).

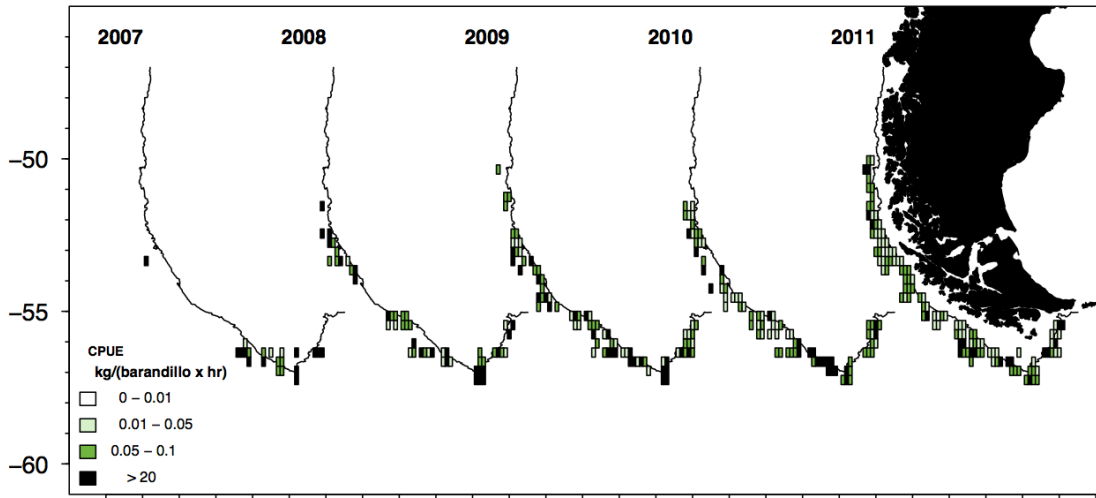


Figura 2. Tasas de captura nominales de bacalao de profundidad capturado con cachalotera en la pesquería industrial chilena acumuladas por año y en cuadrantes de 0,2 x 0,3 grados. Años 2007 a 2011.

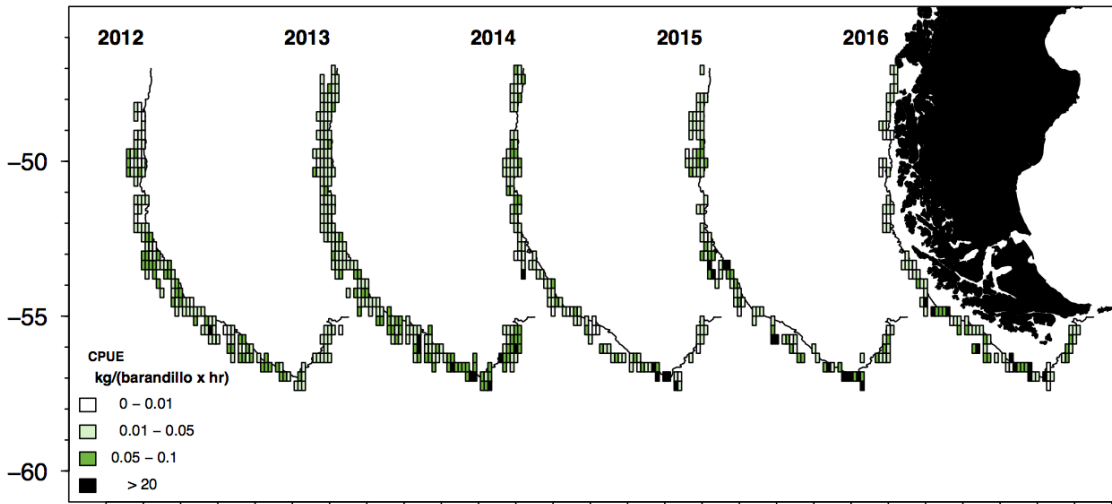


Figura 3. Tasas de captura nominales de bacalao de profundidad capturado con cachalotera en la pesquería industrial chilena acumuladas por año y en cuadrantes de 0,2 x 0,3 grados. Años 2012 a 2016.

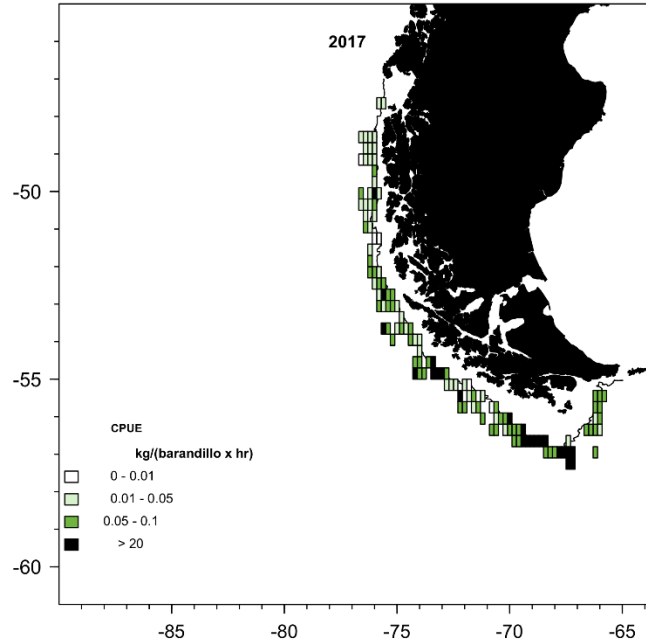


Figura 4. Tasas de captura nominales de bacalao de profundidad capturado con cachalotera en la pesquería industrial chilena acumuladas por año y en cuadrantes de 0,2 x 0,3 grados. Año 2017.

4.3. Estandarización del esfuerzo industrial

Las desviaciones estándar del efecto aleatorio Barco y la interacción aleatoria Caladero:Barco correspondieron a 0,23314 y 0,22391 respectivamente, con una desviación estándar residual de 0,89988. Los cuantiles normales del efecto aleatorio Barco se muestran en la **Figura 5**.

La serie de CPUE (kg/(barandillo x horas de reposo)) estandarizada muestra una reducción progresiva entre los años 2008 y 2016 pero un incremento en el éxito de captura entre los años 2016 y 2017 (**Figura 6**).

El incremento en el valor del índice en el año 2017 respecto del año anterior, puede estar influenciado de manera importante por los cambios realizados al aparejo de pesca en este último año. Efectivamente, durante el año 2017 una de las empresas que opera en esta pesquería ensayó una modificación de la cachalotera, consistente de una sección de red que, accionado mediante un monofilamento, cierra el cono de red de la cachalotera durante la actividad de virado del aparejo (**Figura 8** en este informe).



Informaciones de terreno señalan que el efecto mitigador de la depredación de la pesca por cachalotes y orcas, que confiere el uso de la cachalotera, se vio incrementado por esta modificación con una consecuente mejora en los rendimientos de pesca. De acuerdo con la información de terreno, el uso de este aparejo modificado se ha extendido prácticamente a toda la flota.

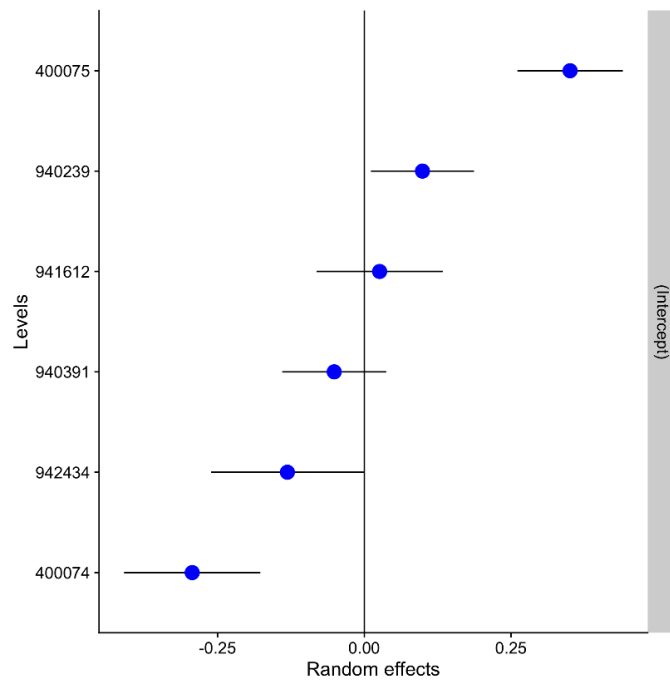


Figura 5. Cuantiles normales del efecto aleatorio Barco de un GLMM que explica las tasas de captura de bacalao de profundidad en la flota industrial que usa la cachalotera como método de pesca.

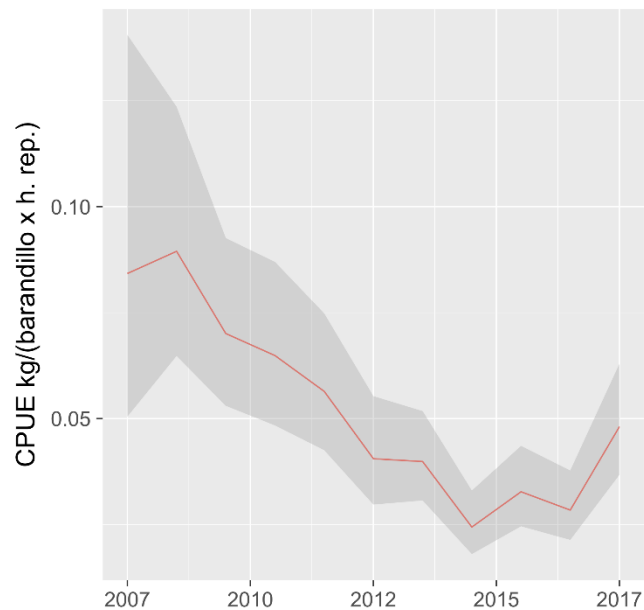


Figura 6. Serie de CPUE estándar de la flota industrial que capturó bacalao de profundidad al sur del paralelo 47° LS entre los años 2007 y 2017 usando la cachalotera como método de pesca.

4.4. Análisis de estandarización del esfuerzo de la pesca artesanal de bacalao de profundidad entre los años 2007 y 2017.

4.5. Descripción de los registros de captura artesanal

Considerando la totalidad de los registros de pesca artesanal, la Zona 1 prácticamente no se encuentra representada en la base de datos y por esta razón no se incluye en el análisis de estandarización. La Zona 3 contiene la mayor cantidad de registros, con un 38% del total, seguida por las Zonas 2 y 4 con 30% y 28% de los registros, respectivamente. La Zona 5, sólo representa un 4% (**Tabla 3**).

**Tabla 3**

Distribución anual de los registros de captura y esfuerzo de pesca artesanal de bacalao de profundidad por Zona de pesca. Los registros de los años 1986 a 1996 fueron tomados en el proyecto FIP 96-32 y de 1997 a 2017 por el proyecto de seguimiento de la pesquería artesanal administrado por IFOP.

Año	Zona				%
	2	3	4	5	
1986	356	256	50	0	3.4
1987	629	447	227	0	6.6
1988	235	544	569	0	6.8
1989	632	430	912	0	10.0
1990	685	681	737	0	10.7
1991	472	539	598	0	8.2
1992	373	530	325	0	6.2
1993	605	546	301	0	7.4
1994	751	700	635	0	10.6
1995	503	645	557	0	8.7
1996	208	533	464	0	6.1
1997	54	439	87	1	3.0
1998	41	60	60	19	0.9
1999	68	364	4	30	2.4
2000	34	135	9	182	1.8
2001	22	109	0	56	0.9
2002	49	253	0	189	2.5
2003	11	126	0	140	1.4
2004	0	1	0	74	0.4
2005	2	8	0	29	0.2
2006	1	2	0	19	0.1
2007	0	4	4	6	0.1
2008	2	2	1	7	0.1
2009	9	14	0	0	0.1
2010	2	11	0	0	0.1
2011	3	6	0	0	0.0
2012	2	2	0	4	0.0
2013	9	31	1	0	0.2
2014	21	10	3	0	0.2
2015	22	17	7	0	0.2
2016	0	2	5	10	0.1
2017	43	23	22	31	0.6
%	30	38	28	4	100

Los datos tomados en el proyecto FIP (años 1986 a 1996) son más abundantes con respecto de los años siguientes, representando entre un 3% a un 11% anual respecto del total (**Tabla 3**).



Los datos tomados por el proyecto de seguimiento, inmediatamente después de terminado el proyecto FIP (1997 a 2003), representan entre un 1% a un 4% anual respecto del total de registros incluidos en la base de datos (**Tabla 3**). En los años siguientes, la recopilación de datos de esta actividad pesquera declinó notablemente, donde el total de datos recopilados entre los años 2005 y 2012 y en el año 2016 representan en su conjunto un 0,6% del total y el porcentaje de datos recopilados anualmente entre los años 2004 y 2016 no excede el 0,4% (**Tabla 3**). El número de registros de captura y esfuerzo muestreados en el año 2017 mejoró notablemente respecto de los años previos, representando el 0,6% del total (**Tabla 3**).

De la **Tabla 3** se desprende también que en el año 1998, la cobertura espacial de la flota muestreada experimentó un claro desplazamiento hacia la zona sur del área de la pesquería, con una importante reducción de los datos provenientes de la Zona 4 y un notable incremento de los datos tomados en la Zona 5.

Si consideramos los datos desde la perspectiva de las categorías de potencia de motor, también se aprecia una obvia reducción en la cobertura del muestreo de datos de captura y esfuerzo en esta flota a partir del año 1997, con sólo un 14% de los registros muestreados (**Tabla 4**).

Por el contrario, en el período 1986 – 1996 (datos tomados en el proyecto FIP) tres años (1989, 1990 y 1994) dan cuenta de un 33% del total de registros (**Tabla 4**).

Desde el punto de vista de toda la historia de la pesquería con registros de captura y esfuerzo de pesca, las Zonas 3, 5 y 6 son las que registran el mayor número de operaciones, con un 66% del total de registros, seguidas de las Zonas 4 y 7 con un 21% (**Tabla 4**).

En la **Tabla 4** se puede apreciar también que la flota con registros de captura experimentó un incremento de su potencia de motor entre los años 1997 y 2006, con una disminución de los registros provenientes de las categorías P1 a P3 entre los años 1997 y 2003 y un notable ingreso de registros en la categoría P5 entre los años 1998 y 2006.



Tabla 4

Distribución anual de los registros de captura y esfuerzo tomados de la pesca artesanal de bacalao de profundidad por categoría de potencia de motor. Los registros de los años 1986 a 1996 corresponden al proyecto FIP 96- 32 y de 1997 a 2017 al proyecto de seguimiento de IFOP.

Año	Categoría potencia de motor									%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1986	13	84	252	34	187	18	26	7	0	4
1987	48	76	435	77	489	28	71	11	0	7
1988	32	49	323	113	459	111	123	17	0	7
1989	27	40	369	244	576	307	125	89	0	10
1990	5	44	321	176	681	348	187	110	0	11
1991	18	12	209	160	503	292	195	70	0	8
1992	2	11	116	105	431	235	118	64	0	6
1993	17	1	162	120	411	354	153	44	0	7
1994	17	31	224	177	608	426	235	129	0	11
1995	18	36	152	155	532	305	194	147	0	9
1996	8	25	119	59	342	182	188	130	0	6
1997	0	2	58	68	196	79	114	64	0	3
1998	12	1	3	9	40	16	1	18	11	1
1999	5	6	12	64	55	62	35	51	38	2
2000	1	0	2	46	39	50	18	41	48	1
2001	0	2	6	19	30	19	11	21	40	1
2002	1	1	19	52	72	33	43	69	127	2
2003	0	2	7	18	25	20	32	50	102	1
2004	0	0	0	1	2	6	10	18	31	0
2005	0	0	0	3	6	4	4	8	11	0
2006	0	0	1	0	1	0	2	4	12	0
2007	0	0	0	1	2	1	0	0	6	0
2008	0	0	0	0	1	0	1	2	6	0
2009	0	0	2	1	8	5	0	1	5	0
2010	0	0	2	1	0	2	2	0	6	0
2011	0	0	2	0	4	1	2	0	0	0
2012	0	0	0	0	1	1	1	0	4	0
2013	0	0	2	1	2	2	3	3	20	0
2014	0	0	4	3	7	0	4	6	10	0
2015	0	0	4	6	8	5	3	5	15	0
2016	0	0	0	1	5	2	0	1	5	0
2017	2	0	3	7	17	11	8	19	38	1
%	1	2	16	10	33	17	11	7	3	100



4.6. Estandarización del esfuerzo artesanal

El análisis de devianza del GLM de las tasas de captura artesanales de bacalao de profundidad se entrega en la **Tabla 5**. La eliminación secuencial de los factores del modelo no produjo un modelo estadísticamente mejor que el ajustado con la totalidad de los factores.

Tabla 5.

Análisis de devianza del GLM de estandarización de las tasas de captura artesanales de bacalao de profundidad registradas entre los años 1986 y 2017.

Factor	G.L.	Devianza	G.L.Res.	Dev.Res.	F	Pr(>F)
Año	31	2317	17418	15319	99.7	<0,000
Mes	8	641	17410	14678	106.9	<0,000
Mes	11	151	17399	14527	18.4	<0,000
Zona	3	1489	17396	13038	662.3	<0,000

En el caso del modelo GLMM, las desviaciones estándar del efecto aleatorio Potencia y la interacción aleatoria Caladero:Potencia, anidada en la categoría de potencia, correspondieron a 0.162 y 0.183 respectivamente, con una desviación estándar residual de 0.852. Los cuantiles normales del efecto aleatorio Potencia se muestran en la **Figura 7**.

Las series de CPUE (kg / dfp) estandarizadas, muestran una rápida reducción de la abundancia relativa (330 kg/dfp a 64 kg/dfp) entre los años 1986 y 1998 y una fluctuación en torno a los 99,4 kg/dfp entre los años 2002 y 2017 (**Figura 8**). Los intervalos de confianza de 95% reflejan la mayor incertidumbre de las estimaciones de los años 2002 a 2016, lo que se debe a la reducción en el número de registros de captura y esfuerzo muestrados en esta flota durante ese período (**Tablas 3 y 4**).

En la **Figura 9** se presentan los valores ajustados vs residuales del GLM de estandarización del esfuerzo de la flota artesanal y un qqplot de los cuantiles normales de los residuales estandarizados del mismo modelo.

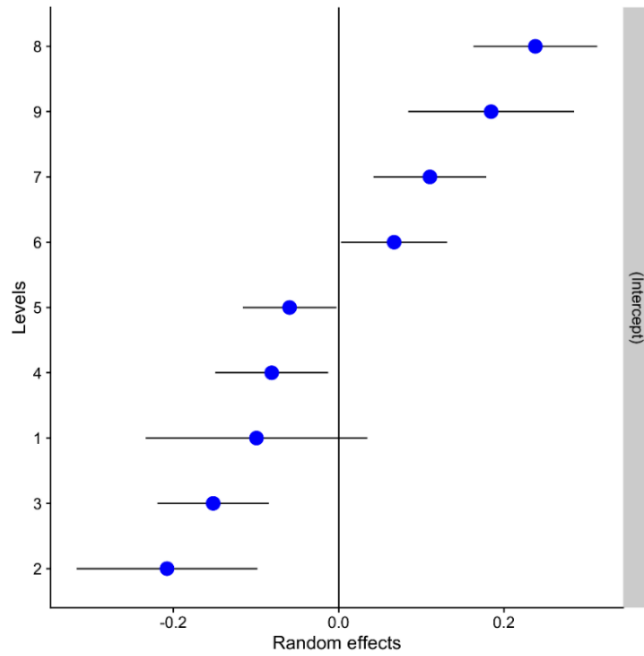


Figura 7. Cuantiles normales del efecto aleatorio Potencia de un GLMM que explica las tasas de captura de la flota artesanal que capturó bacalao de profundidad en la zona centro sur de Chile entre los años 1986 y 2017.

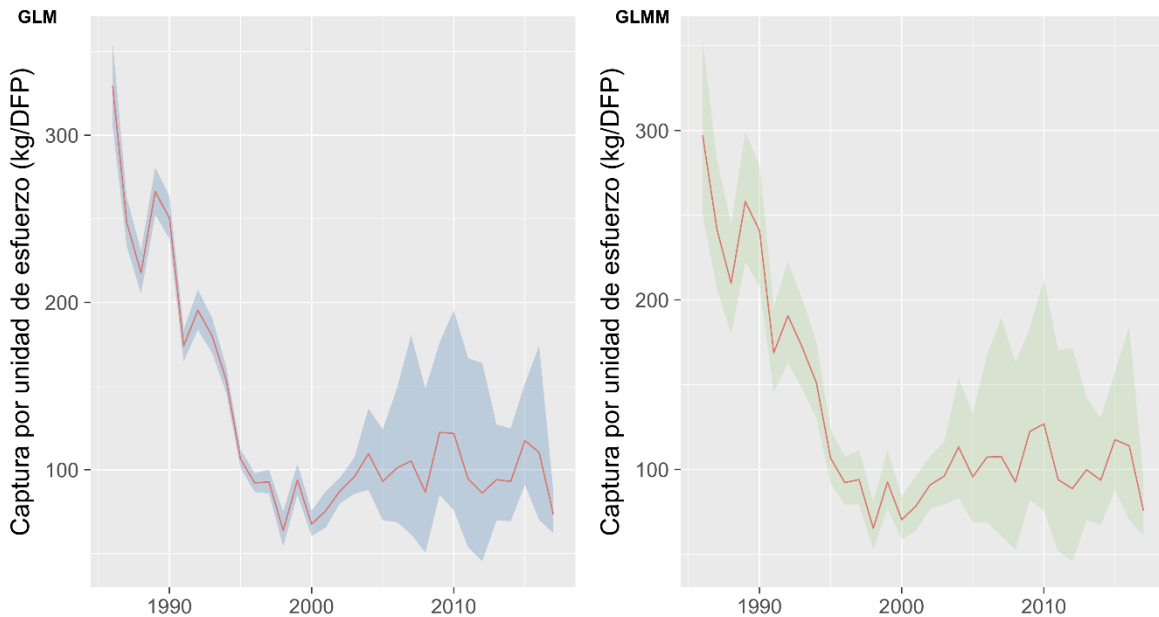


Figura 8. Series de abundancia relativa estimadas con datos de la pesca artesanal de bacalao de profundidad utilizando un GLM (panel izquierdo) y un GLMM (panel derecho). Años 1986 a 2017.

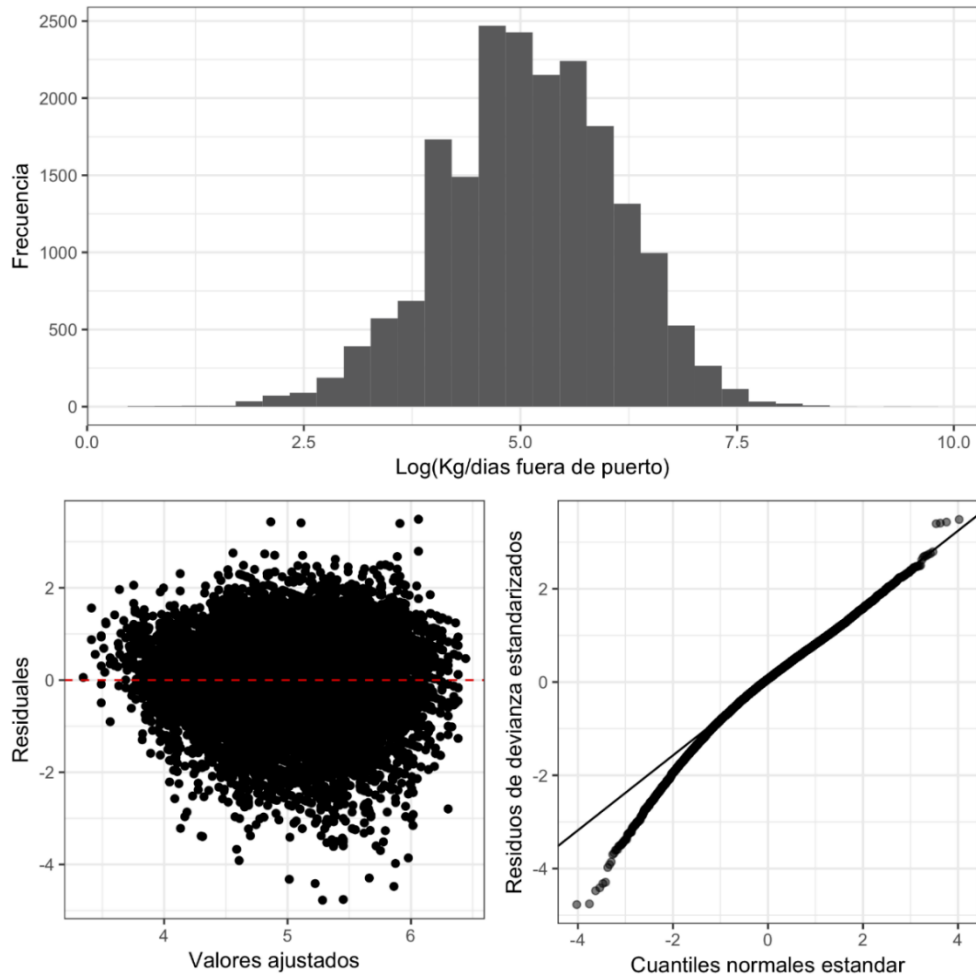


Figura 9. Panel superior: histograma del logaritmo de la captura por unidad de esfuerzo de la pesca artesanal de bacalao de profundidad; Panel inferior izquierdo: valores ajustados vs residuales del GLM de estandarizaci3n; Panel inferior derecho: qqplot de los cuantiles normales de los residuales estandarizados del GLM.



5. Discusión y conclusiones

5.1. Discusión

En muchas pesquerías se hace necesario usar la captura por unidad de esfuerzo, estimada con datos de la pesca comercial, para obtener un índice de abundancia relativa. Estos índices pueden, sin embargo, entregar señales equívocas ya que las tasas de captura pueden variar en el tiempo debido a otros factores además de la abundancia. El uso de las tasas de captura comerciales como un indicador de abundancia relativa, depende entonces de la posibilidad de remover el efecto de estos factores a través del proceso de estandarización del esfuerzo (Maunder y Punt 2004).

De esta manera y debido a la ausencia de un índice de abundancia independiente de la pesquería, en la evaluación de stock de bacalao de profundidad rutinariamente se conduce un análisis de las tasas de captura, con la finalidad de conocer las tendencias de la abundancia. Este análisis está, sin embargo, condicionado por la información disponible en los registros de los proyectos de monitoreo conducidos por el IFOP y CPES en diferentes momentos en el tiempo y que en su conjunto, cubren un número importante de años de operación en esta pesquería (Young et al. 1997, Rubilar et al 2014, Céspedes et al 2017).

Algunos de los problemas que se presentan con estos datos, son: las dificultades de componer una base de datos integrada, dados los diferentes formatos y campos registrados en cada proyecto, el hecho de que los factores a incluir en el análisis de estandarización están limitados a aquellos posibles de encontrar en estas bases de datos y las variaciones espaciales y temporales en la cobertura del muestreo e.g. en la base de datos de cachalotera industrial, el año 2007 no está bien representado por el limitado número de operaciones conducidas usando este aparejo; en el caso artesanal, se observa claramente una reducción de los registros captura y esfuerzo tomados por el proyecto de seguimiento vs los tomados en el proyecto FIP; en esta última base de datos, se observa también un desplazamiento hacia el sur del área de la pesquería entre los años 1998 y 2008 y un incremento en la potencia de la flota, en los años 1998 a 2006. Todas estas características, condicionan la certidumbre respecto de las tendencias de la abundancia estimadas con estos datos.

Por estas razones, se han propuesto y explorado alternativas independientes de la operación pesquera comercial para obtener un índice de abundancia para este stock, tales como el marcaje (Rubilar et al. 2014) o evaluaciones directas con pesca de palangre (propuesta en sesiones tanto del CCT-RDAP como del Comité de Manejo). Sin embargo, los objetivos de las actividades de marcaje han sido planteados en términos más bien amplios y no dirigidas específicamente a producir un índice de abundancia para la evaluación del stock.



Además, estos proyectos han experimentado dificultades: para marcar un rango de tamaño de los individuos representativo del rango de tamaños en la captura; para implementar el marcaje a bordo de embarcaciones artesanales y el acceso a estos datos no se es particularmente claro.

Por otro lado, la implementación de evaluaciones directas requerirá solucionar un número de problemas estadísticos y logísticos, antes de que se pueda producir una estimación confiable para su uso en la evaluación de stock y consecuentemente, pasará algún tiempo antes de que se pueda contar con una serie de estimaciones de abundancias producidas mediante este método. Por estas razones, lo más probable es que en el futuro inmediato la CPUE continúe siendo utilizada como un indicador de la abundancia relativa en esta evaluación del stock.

Recientemente, se ha hecho énfasis en la incorporación de los descartes en la evaluación de stock, particularmente debido a la promulgación de la ley del descarte (Ley N° 20.625 MINECOM 2012). Las estimaciones de descarte para las pesquerías nacionales son escasas, incluyendo la pesquería de bacalao de profundidad, sin embargo esta situación está cambiando, en particular para la pesquería industrial donde el programa de monitoreo del descarte ha realizado estimaciones para los años 2015 a 2017, con valores que van desde un 1,77% a 7,88% (San Martín et al. 2016). Si existen descartes, entonces la CPUE debe interpretarse como captura retenida por unidad de esfuerzo y requiere ser corregida. Sin embargo, desde la perspectiva de contar con una mejor estimación de la mortalidad por pesca, estos pequeños niveles de descarte pasan a ser insignificantes si se considera la probable magnitud de la depredación de la pesca por mamíferos marinos.

Efectivamente, la interacción entre mamíferos marinos y pesquerías de palangre, debido a la depredación de la pesca, es un suceso observado a escala global que conduce a la pérdida parcial o total de las capturas y en algunas partes del mundo, a una pérdida considerable de dinero (Söffker et al. 2015, Guinet et al. 2015). La pesca chilena de bacalao de profundidad no es una excepción, donde para el caso de la pesca industrial, ésta interacción se encuentra bien documentada (Rubilar et al. 2014).

Las tendencias de la abundancia, estimadas usando tanto datos de la pesca industrial como artesanal, son claramente a la baja con una disminución rápida y significativa entre los años 1986 y 2000 en el área de pesca artesanal (18° 21' - 47° LS, con una reducción entre los años 1991 y 2006 (años de pesca con palangre) en el área de pesca industrial (47°-57° LS) (Tascheri 2018), que continúa entre los años 2007 y 2016 (años de pesca con cachalotera). Esta tendencia es coincidente con aquellas reportadas, haciendo uso de este tipo de índices, en las pesquerías de Perú (IMARPE 2016) y Argentina (series de CPUE de palangre y arrastre aportadas por INIDEP e incluidas en esta evaluación).



Fuentes de incerteza para las estimaciones informadas en este Anexo son: el reducido registro de información de captura y esfuerzo artesanal entre los años 1998 y 2016 y la modificación del aparejo industrial en el año 2017. Con respecto a esto último, en el año 2006 la pesquería comenzó a adoptar la cachalotera y entre los años 2007 y 2008, este aparejo se extendió a toda la flota industrial. La diferencia en capturabilidad entre el palangre español y la cachalotera (Rubilar et al. 2010), significó la necesidad de incorporar este efecto en la evaluación de stock, para lo cual se hizo necesario incluir el registro de las variables operacionales específicas del nuevo aparejo en los protocolos de toma de información en terreno (Rubilar et al. 2014).

Los mayores rendimientos observados en el año 2017 pueden significar una repetición de la situación observada en los años 2006 y 2007 (transición del palangre a la cachalotera) y que los datos tomados en los años 2017 y 2018 deban ser considerados separadamente del resto de la serie (e.g. mediante la estimación de un factor de conversión entre las diferentes configuraciones de cachalotera; Rubilar et al. 2010).

La mayor fuente de incertidumbre asociada a los índices de abundancia estimados con datos de operaciones de pesca es, sin embargo, la interacción de esta actividad con mamíferos marinos, a través de la depredación de las líneas (caceas), proceso que requiere ser estudiado para comprender las consecuencias económicas y demográficas del comportamiento de depredación sobre la pesquería de bacalao de profundidad (Guinet et al. 2015). En efecto, estudios de foto-identificación han permitido determinar que las orcas que interactúan con la actividad se han especializado en la depredación de la pesca y corresponden a un número relativamente reducido de individuos y a un pequeño número de unidades sociales (Tixier et al. 2010). En las islas Crozet, la nueva y accesible fuente de alimento provista por la pesca, ha significado que algunos individuos hayan aprendido a alimentarse de este modo y este comportamiento se ha transmitido rápidamente en la población de orcas mediante el aprendizaje social (Allen et al., 2013).

Lo anterior, demanda la implementación de un monitoreo especialmente dirigido a entender este proceso, incrementando así los esfuerzos iniciados por CPES entre los años 2009 y 2013 (Rubilar et al. 2014). Esto puede resultar en que los costos de la actividad de monitoreo se incrementen de manera significativa, pero tal inversión puede significar poder contar con una mejor comprensión del proceso que puede derivar en el desarrollo de prácticas de pesca que minimicen estas interacciones y no menos importante, poder establecer hasta qué punto la actividad de depredación está determinando la tendencia de la CPUE, en especial aquella medida en el área de pesca industrial. Por otro lado, la implementación de un crucero de evaluación directa usando pesca con palangre para estimar la abundancia, necesariamente deberá implementar un procedimiento para estimar la tasa de depredación, si se espera producir estimados confiables de la abundancia, dado que el comportamiento de depredación afecta a toda a actividad de pesca ya sea esta científica o comercial.



5.2. Conclusiones.

- La abundancia relativa de bacalao de profundidad en el área de pesca artesanal se redujo rápidamente entre los años 1986 y 2000, luego de lo cual se ha mantenido relativamente estable.
- La abundancia relativa en el área de pesca industrial experimentó una disminución entre los años 2007 y 2016.
- El incremento de la abundancia relativa en el área de pesca industrial en el año 2017, estaría asociado a una modificación del aparejo de pesca que incrementa su efectividad para mitigar la depredación por mamíferos marinos.
- La depredación por mamíferos marinos continúa siendo la principal fuente de incertidumbre asociada a las tendencias estimadas de la captura por unidad de esfuerzo, particularmente en el área de pesca industrial.
- El aprendizaje del comportamiento de depredación que ocurre en los mamíferos marinos, según se ha descrito en la literatura científica, puede significar que la reducción en el tiempo de la captura por unidad de esfuerzo sea el resultado de un incremento en el tiempo de la actividad de depredación. Sin los datos adecuados, este efecto no puede ser discriminado del efecto de la pesca, lo que requeriría de la implementación de un monitoreo especialmente dirigido a entender este comportamiento y a estimar la tasa de depredación.



6. Referencias

- Allen, J., Weinrich, M., Hoppitt, W., and Rendell, L. 2013. Network-based diffusion analysis reveals cultural transmission of lobsided feeding in humpback whales. *Science*, 340: 485–488.
- Bates, D., M. Maechler, B. Bolker and S. Walker. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1): 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01.
- Céspedes, R., L. Chong, R. San Juan, P. Gálvez, V. Ojeda, G. Moyano, R. Bravo, L. Muñoz, L. Adasme y J. González. 2017. Convenio de Desempeño 2016 Seguimiento de las Pesquerías Demersales y Aguas Profundas Sección VI: Pesquería de Aguas Profundas, 2016. Informe Técnico Final. 149 p. + Anexos.
- Guinet, C., Tixier, P., Gasco, N., and Duhamel, G. Long-term studies of Crozet Island killer whales are fundamental to understanding the economic and demographic consequences of their depredation behaviour on the Patagonian toothfish fishery. – *ICES Journal of Marine Science*, 72: 1587–1597.
- Hinton, M.G. and M.N. Maunder. 2004. Methods for standardizing CPUE and how to select among them, Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT 56(1): 169-177.
- IMARPE. 2016. Estado de la pesquería del bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides* Smitt 1898) con proyección de captura al 2017. Instituto del Mar del Perú. 13 p.
- Lenth, R. 2018. emmeans: Estimated Marginal Means. R package version 1.1.3. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- Maunder, M.N. and A.E. Punt. 2004. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches, *Fisheries Research* 70(2-3):141-159.
- Maunder, M.N. and A.E. Punt. 2013. A review of integrated analysis in fisheries stock assessment, *Fisheries Research* 142: 61-74.
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rubilar, P., A. Zuleta, F. Balbontín y P. Troncoso. 2010. Bases para un programa colaborativo de monitoreo científico en la pesquería del bacalao. PESCA DE INVESTIGACION BACALAO 2009. Informe Primera Etapa. Centro de Estudios Pesqueros S.A. 47 p.



Rubilar, P., A. Zuleta, C. A. Moreno. 2014. Monitoreo pesquería - dependiente y marcaje del bacalao de profundidad en Chile. Pesca de Investigación Bacalao 2013. Informe final. Centro de Estudios Pesqueros S.A. 67 p.

San Martín, M., V. Escobar, C. Román, J. C. Saavedra-Nievas, Z. Young, J. Azócar, C. Bravo, J. López, C. Bernal. 2016. Convenio de Desempeño 2015 Programa de Investigación del Descarte y Captura de Pesca Incidental, año 2015. Instituto de Fomento Pesquero - Subsecretaría de Economía y EMT. 310 p + Anexos.

Schnute, J. T., N. Boers and R. Haigh. 2017. PBSmapping: Mapping Fisheries Data and Spatial Analysis Tools. R package version 2.70.4. <https://CRAN.R-project.org/package=PBSmapping>

Tascheri, R., C. Canales, C. Céspedes y L. Chong. 2015. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2015: Bacalao de profundidad, 2015. DOCUMENTO TÉCNICO N°2. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 141 p.

Tascheri, R. 2018. Convenio de Desempeño 2017: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2018: Bacalao de profundidad, 2018. Documento Consolidado. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 115 p.

Tixier, P., Gasco, N., Duhamel, G., Viviant, M., Authier, M., and Guinet, C. 2010. Interactions of Patagonian toothfish fisheries with killer and sperm whales off the Crozet islands: An assessment of depredation levels and insights on possible mitigation solutions. CCAMLR Science Series, 17: 179–195.

Quinn II, T.J. 2003. Ruminations on the development and future of population dynamics models in fisheries Natural Resource Modeling 16(4): 341-392.

Wickham, H. 2009. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.

Wickham, H., R. Francois, L. Henry and Kirill Müller. 2017. dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 0.7.4. <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>.

Young, Z., H. González & P. Gálvez. 1997. Análisis de la captura y del esfuerzo de pesca en la pesquería de Bacalao de Profundidad en la zona Centro-Sur. Informes Técnicos FIP, FIP- IT/96-32, 63 p. + Anexos.

A N E X O 3

Residuales de los datos de composición de edad y longitud de las capturas y de los índices de abundancia relativa.

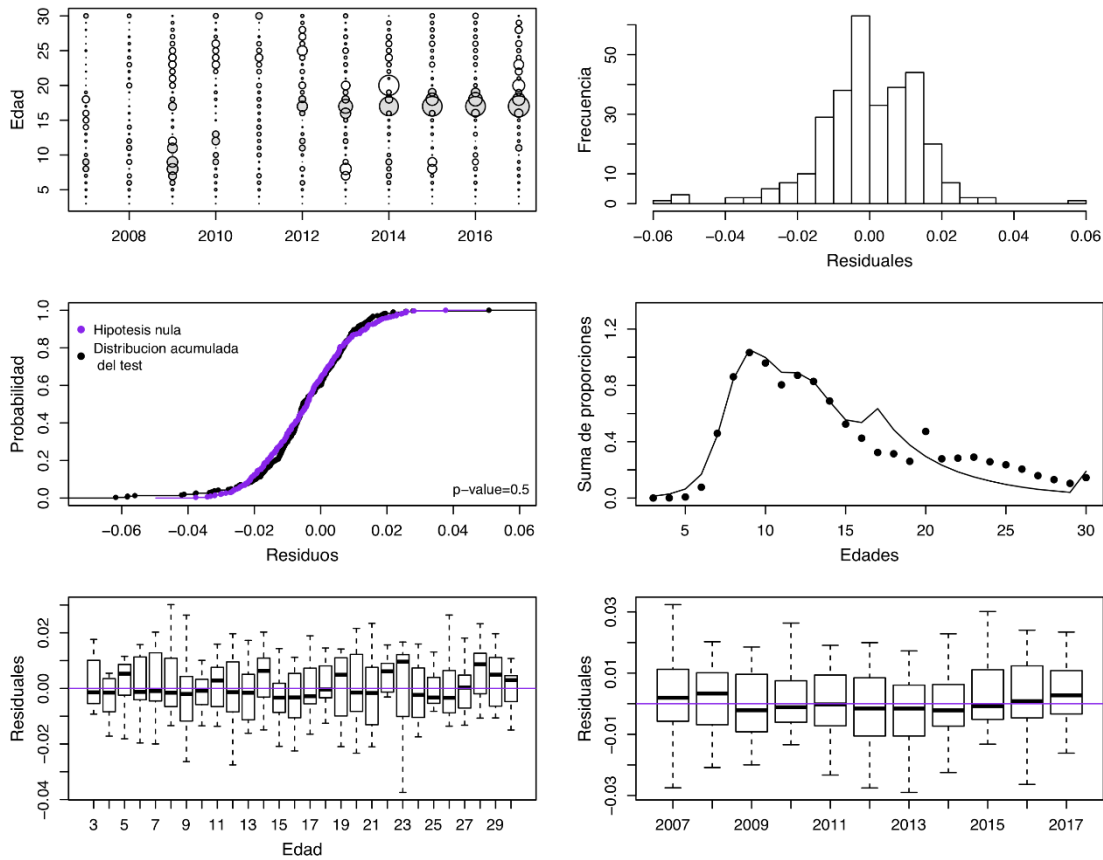


Figura 1. Análisis de residuales de la composición de edades de las capturas industriales. Años 2007 a 2017. Caso 1.

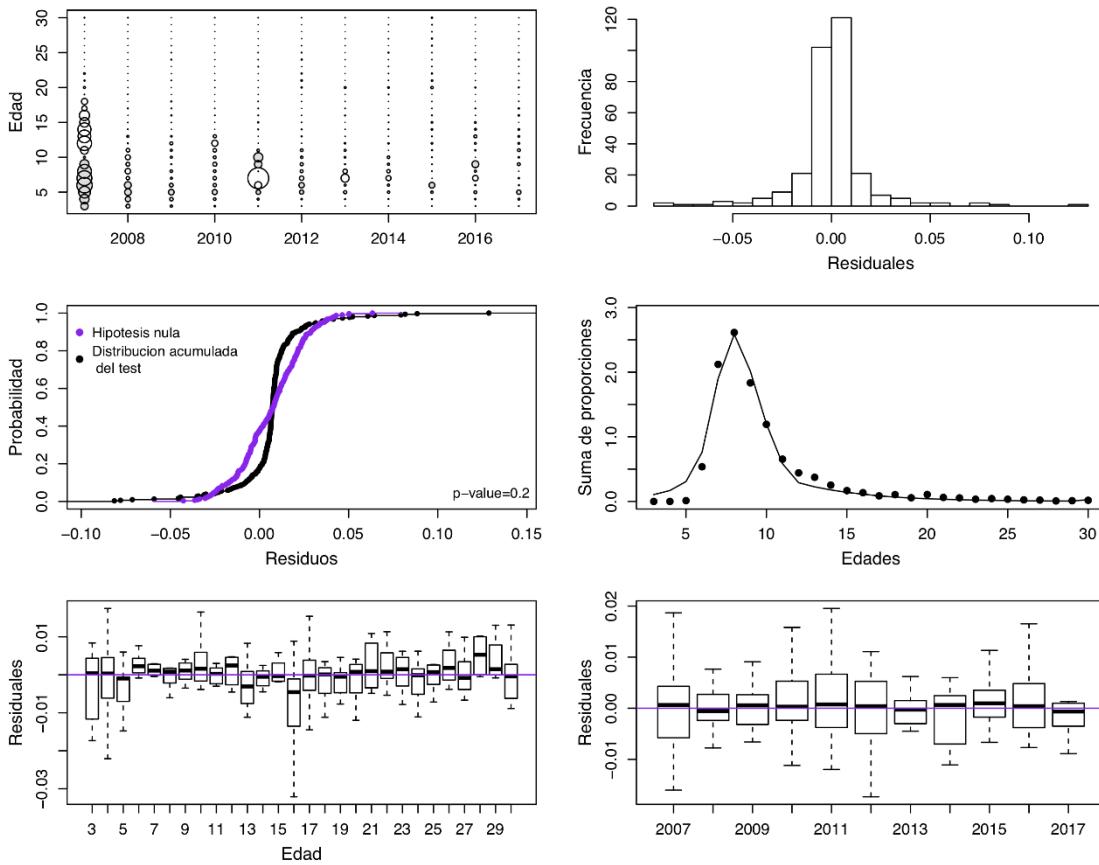


Figura 2. Análisis de residuales de la composición de edades de las capturas artesanales. Años 2007 a 2017. Caso 1.

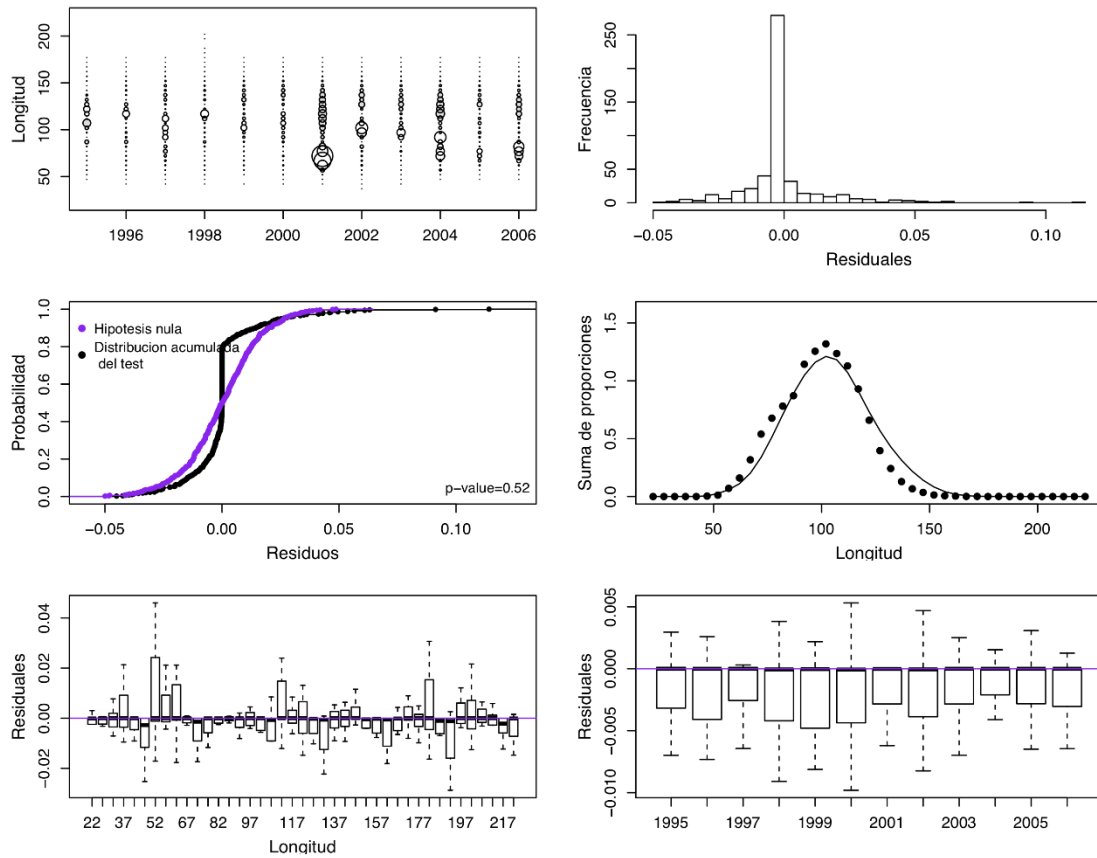


Figura 3. Análisis de residuos de la composici3n de longitudes de las capturas industriales. Años 1995 a 2006. Caso1.

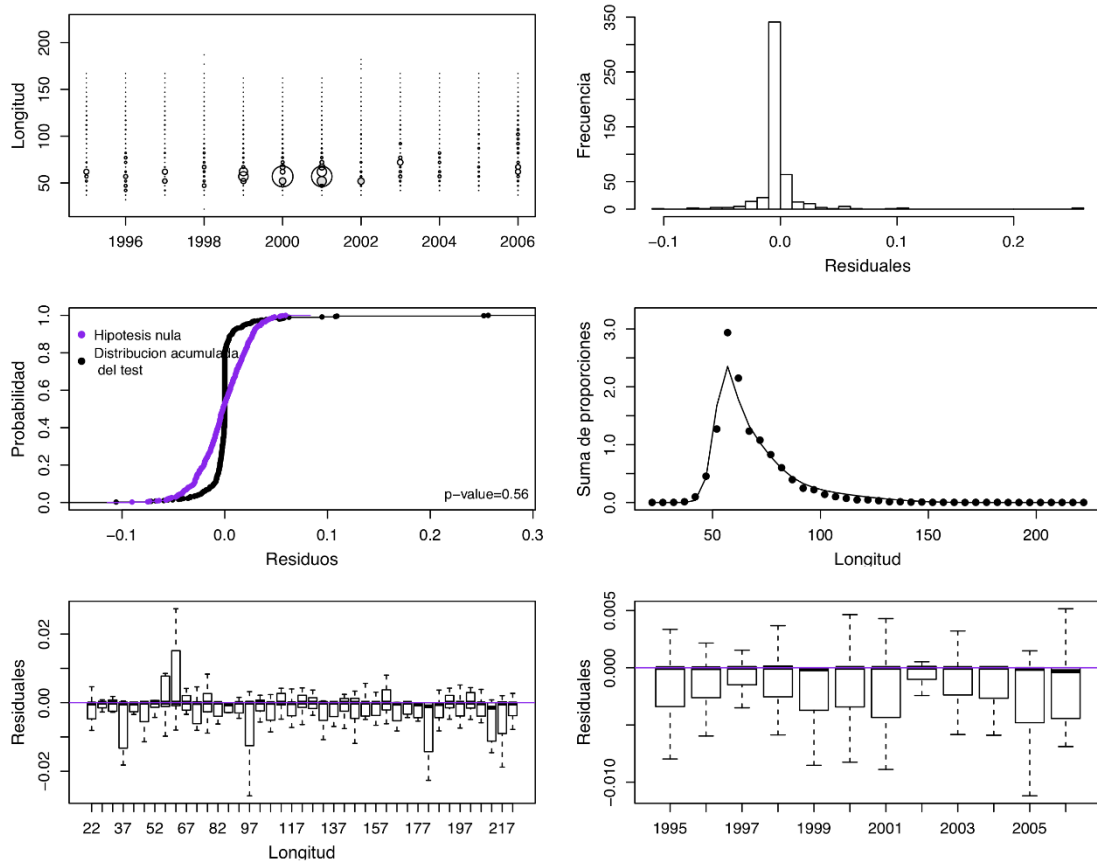


Figura 4. Análisis de residuales de la composici3n de longitudes de las capturas artesanales. Años 1995 a 2006. Caso1.

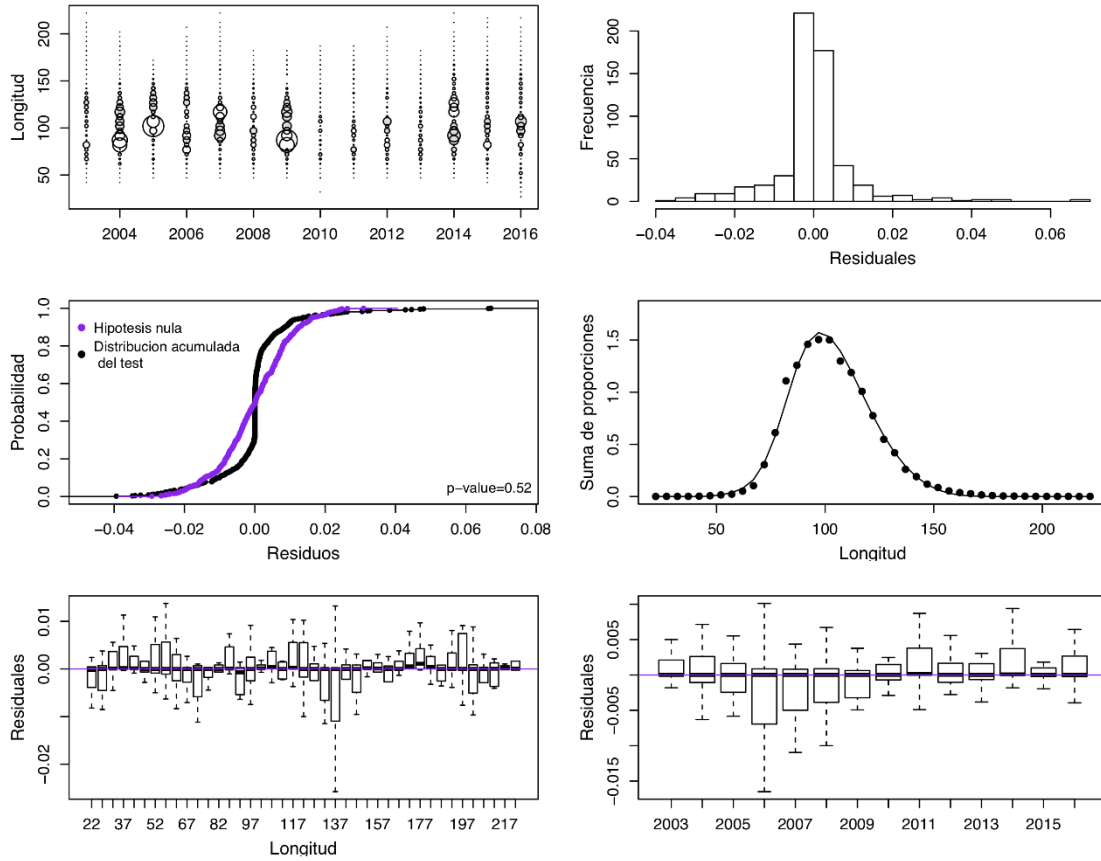


Figura 5. Análisis de residuales de la composición de longitudes de las capturas argentinas de palangre. Años 2003 a 2016. Caso1.

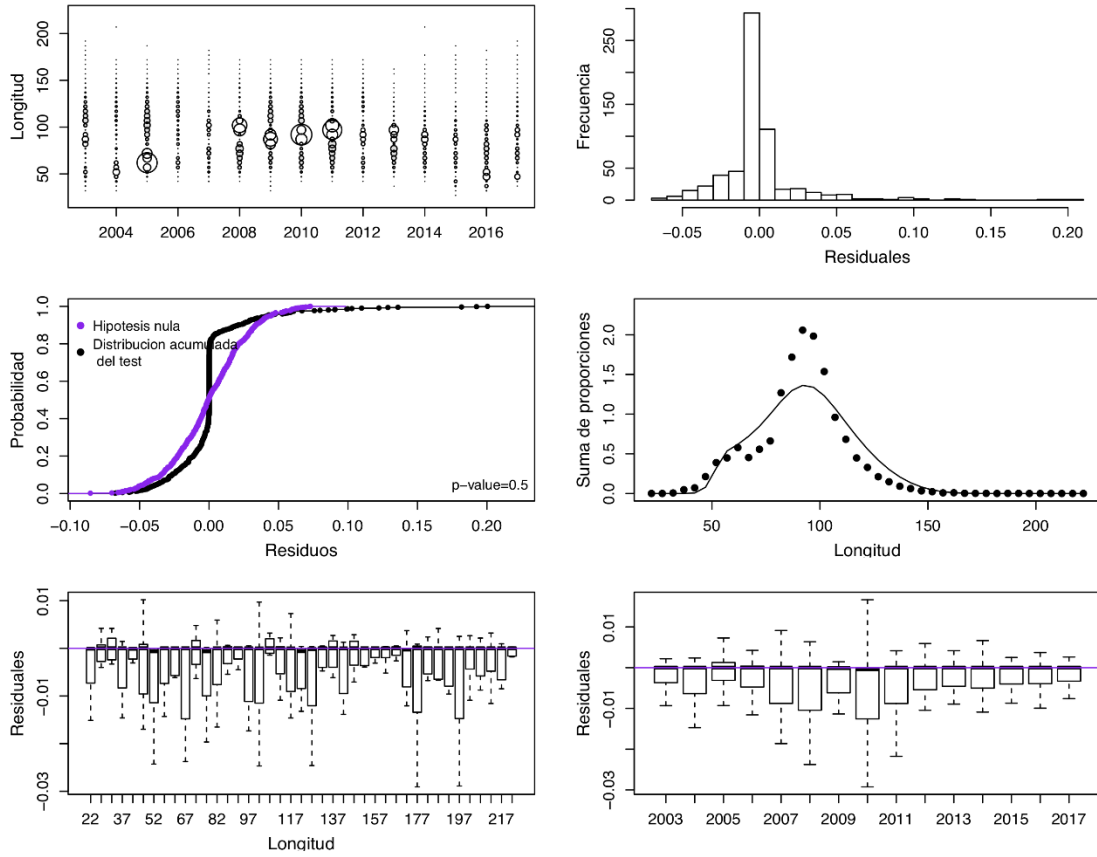


Figura 6. Análisis de residuales de la composición de longitudes de las capturas argentinas de palangre. Años 2003 a 2017. Caso1.

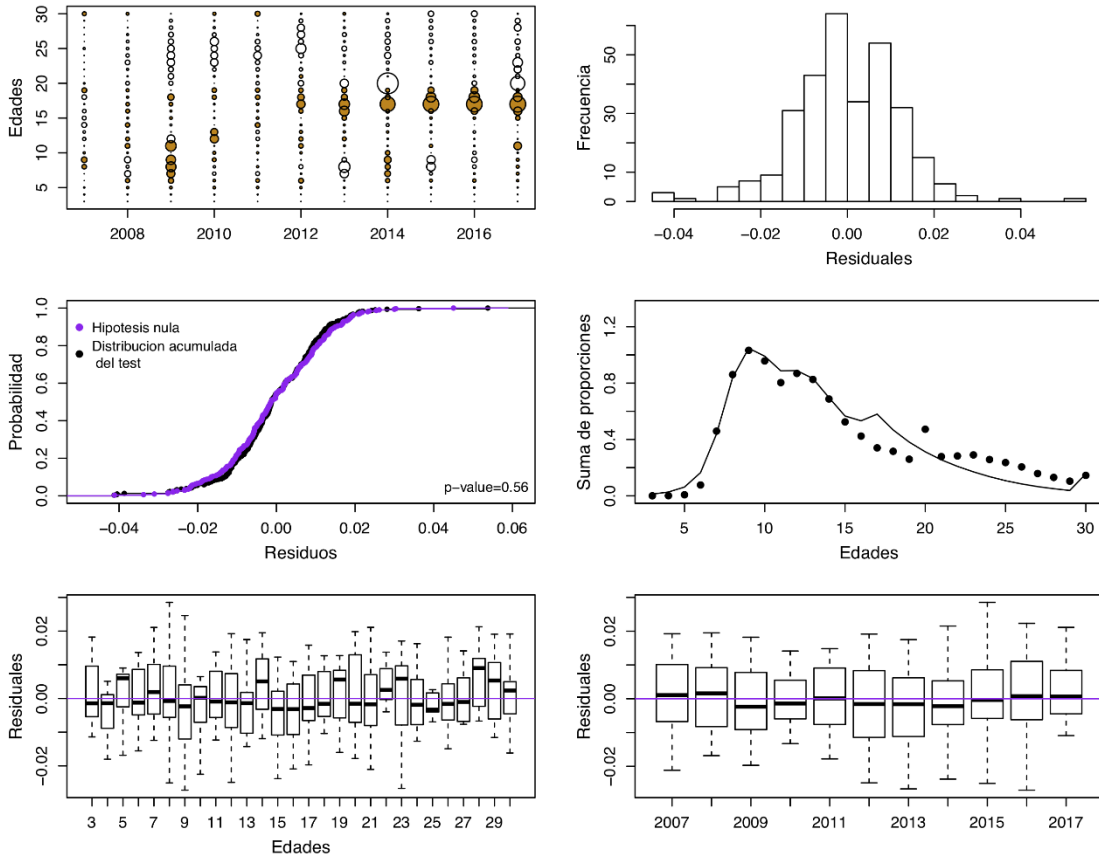


Figura 7. Análisis de residuales de la composición de edades de las capturas industriales. Años 2007 a 2017. Caso 2.

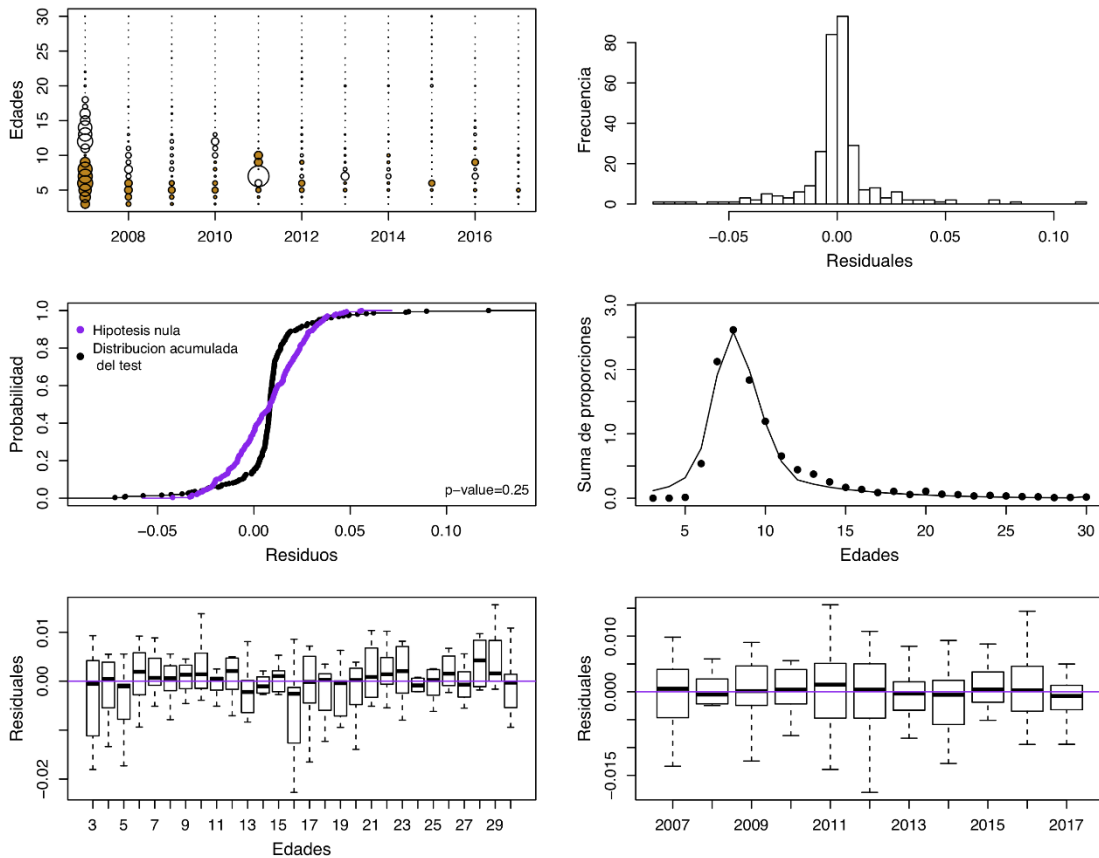


Figura 8. Análisis de residuales de la composición de edades de las capturas artesanales. Años 2007 a 2017. Caso 2.

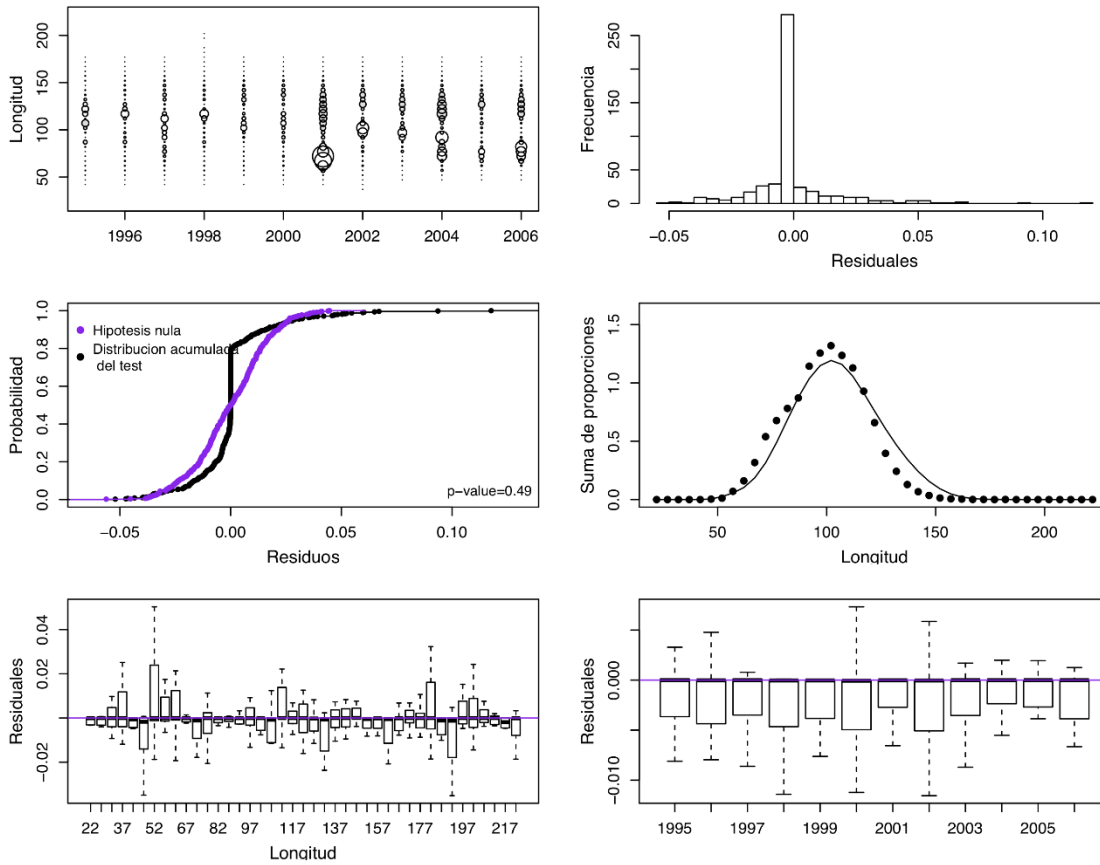


Figura 9. Análisis de residuales de la composición de longitudes de las capturas industriales. Años 1995 a 2006. Caso 2.

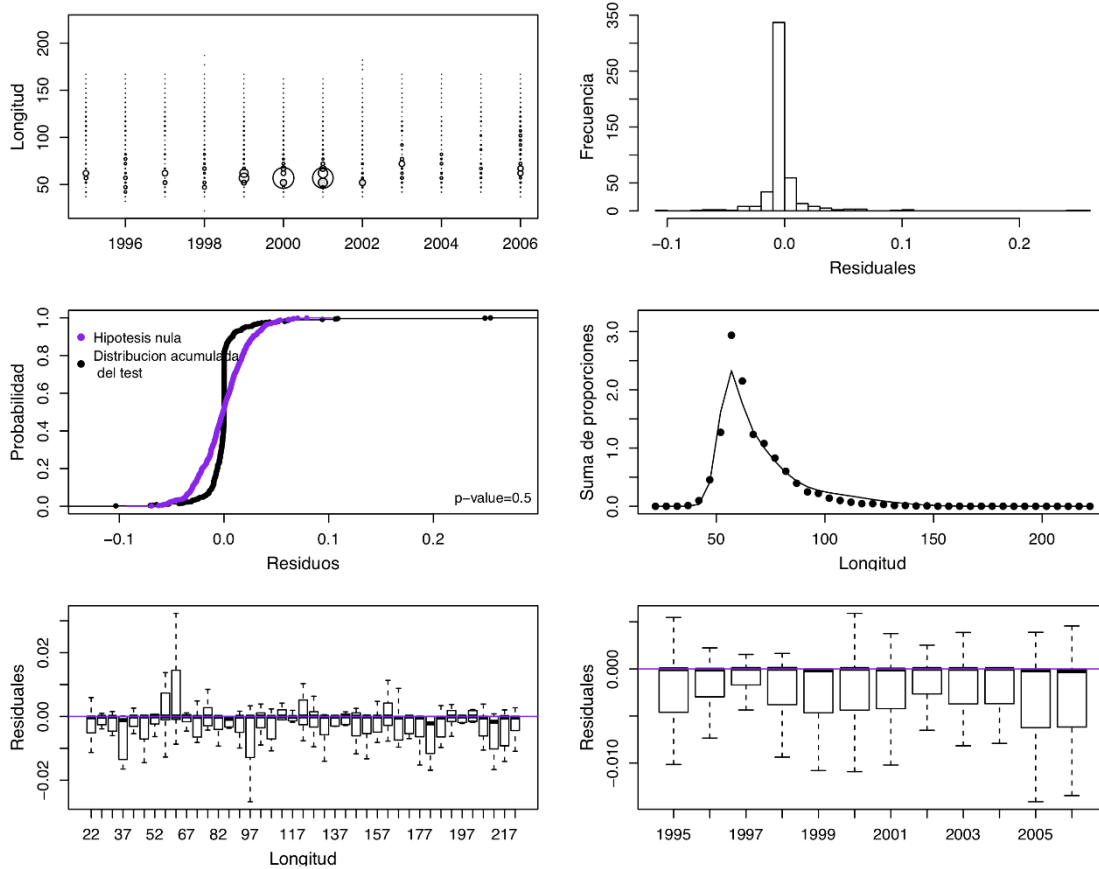


Figura 10. Análisis de residuales de la composición de longitudes de las capturas artesanales. Años 1995 a 2006. Caso 2.

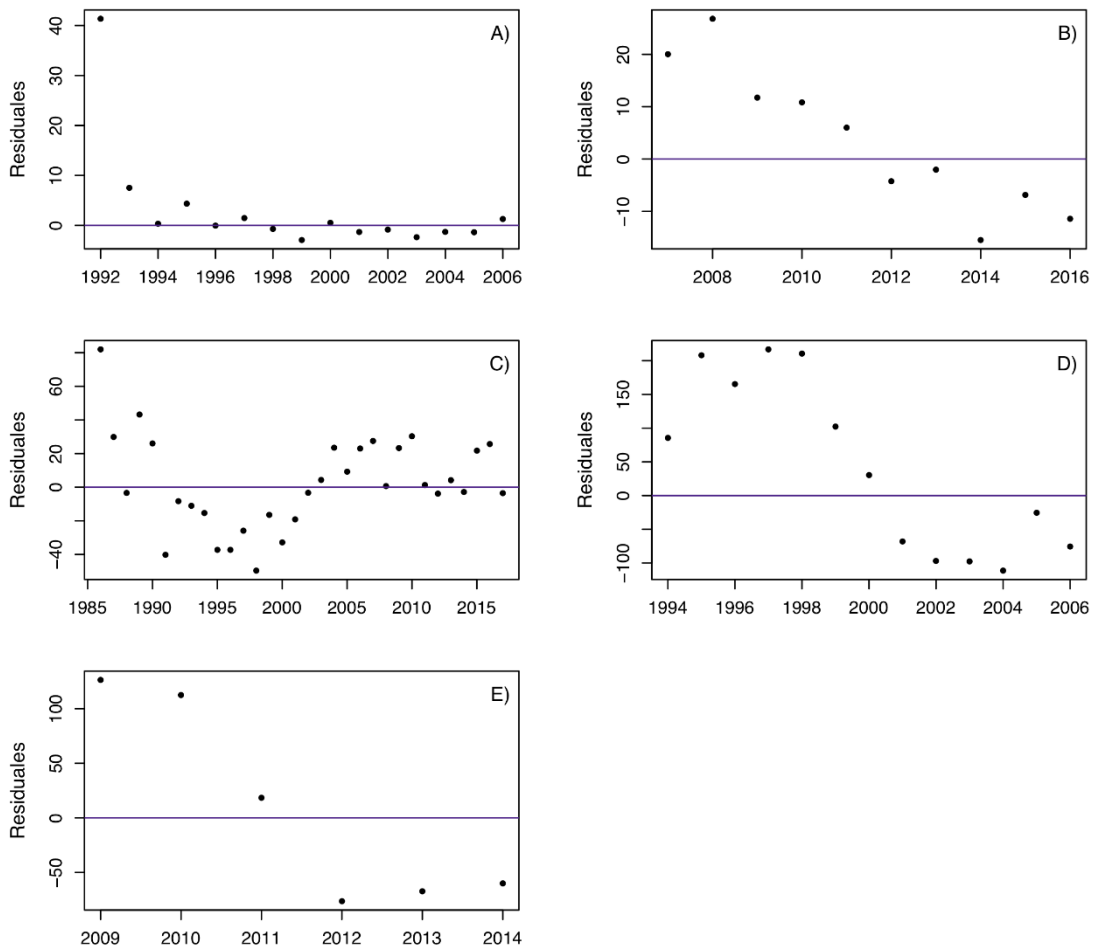


Figura 11. Residuales 3ndices de abundancia relativa. A) palangre industrial; B) Cachalotera chilena; C) espinel artesanal; D) palangre argentino; E) cachalotera argentina. Caso 1.

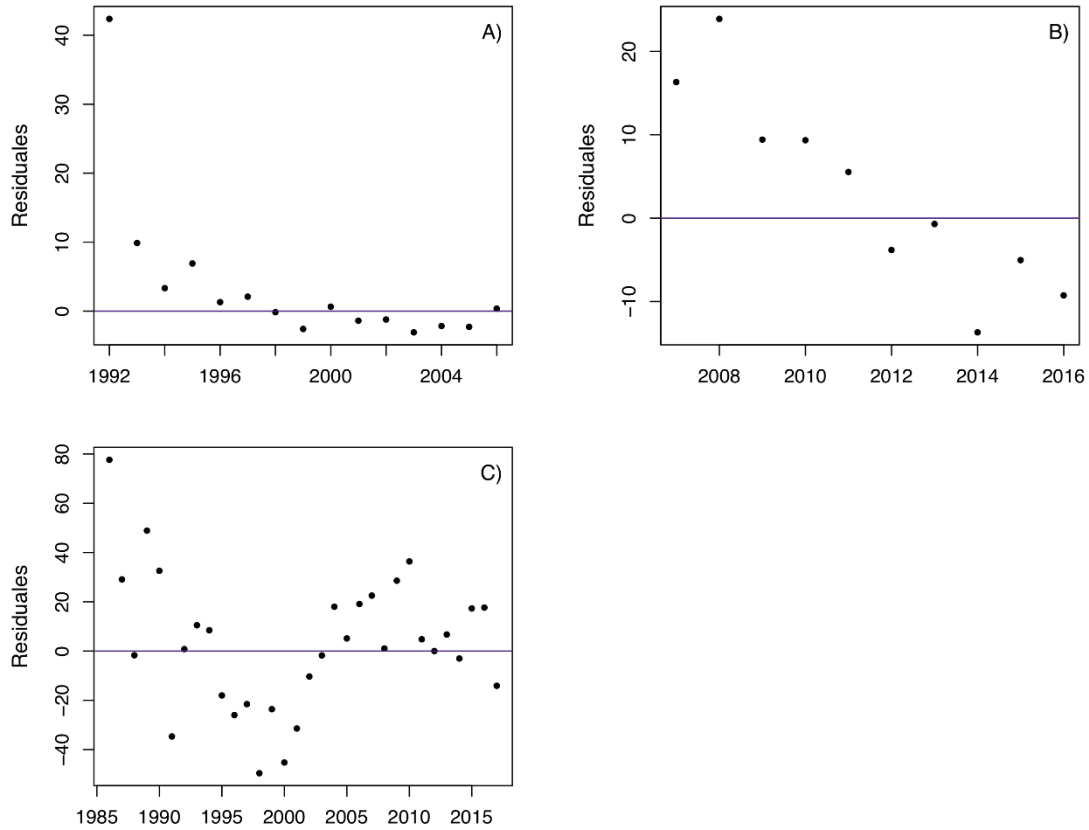


Figura 12. Residuales índices de abundancia relativa. A) palangre industrial; B) Cachalotera chilena; C) espinel artesanal. Caso 2.



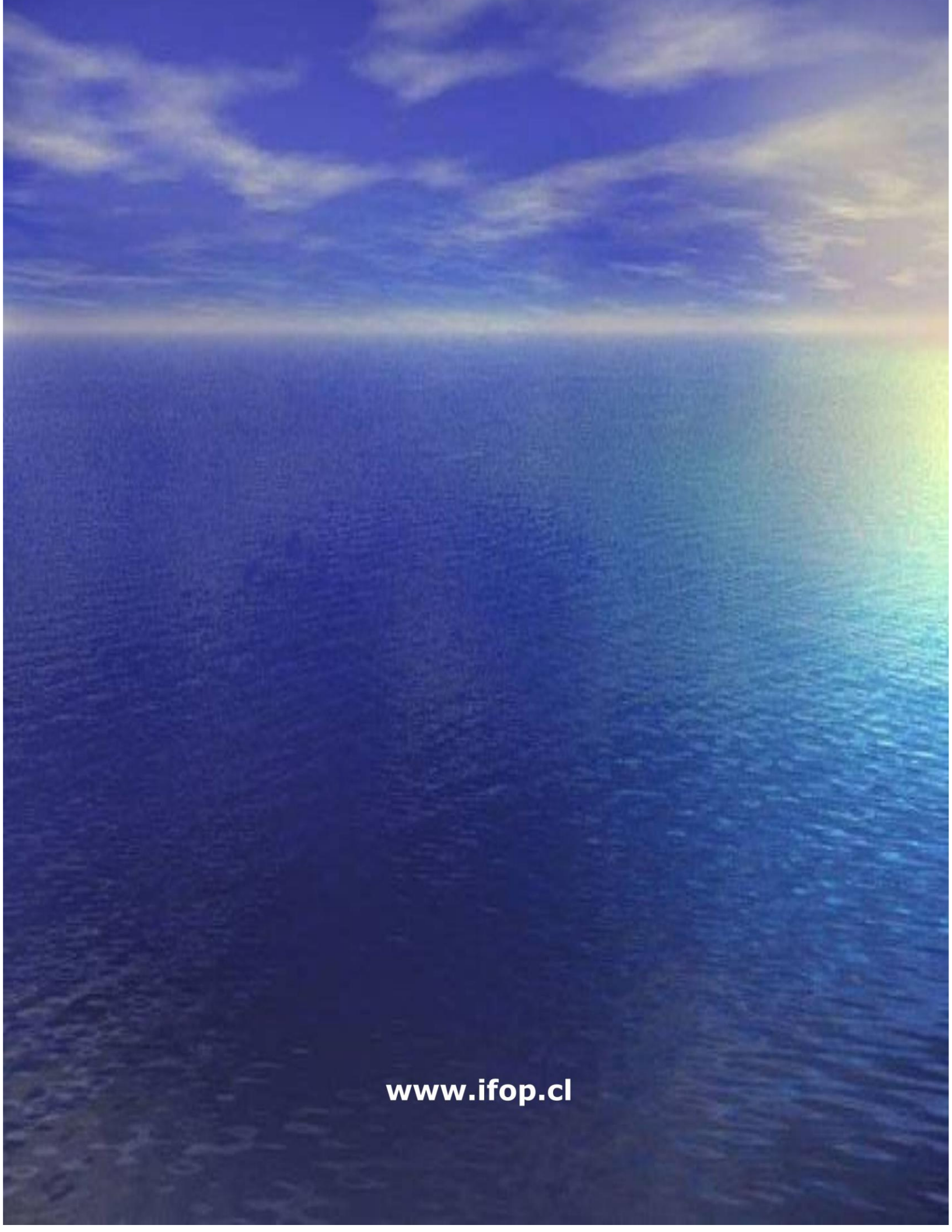
INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Almte. Manuel Blanco Encalada 839,

Fono 56-32-2151500

Valparaíso, Chile

www.ifop.cl



www.ifop.cl